А. П. Гаршин, С. М. Федотова

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
ТОМ 3
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ

2-е издание, исправленное и дополненное

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по университетскому политехническому образованию в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 150400 «Технологические машины и оборудование»

Москва • Юрайт • 2021

УДК 621.92(075.8)
ББК 34.638.7я73
Г21

Авторы:

Гаршин Анатолий Петрович — доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры базовой подготовки иностранных граждан Института международных образовательных программ Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;

Федотова Светлана Михайловна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник. В период подготовки рукописи книги занимала должность заместителя главного технолога абразивного завода «Ильич» г. Санкт-Петербург.

Рецензенты:

Удалов Ю. П. — доктор химических наук, профессор кафедры общей химической технологии и катализа Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), действительный член Академии инженерных наук имени А. М. Прохорова, заслуженный работник высшей школы;

Радкевич М. М. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов и материаловедения Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Гаршин, А. П.

Г21 Материаловедение. В 3 томах. Том 3. Технология конструкционных материалов: абразивные инструменты : учебник для вузов / А. П. Гаршин, С. М. Федотова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 385 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-02125-7 (т. 3)
ISBN 978-5-534-01949-0

Учебник «Материаловедение» состоит из трех томов. В первом томе «Абразивные материалы» показаны лучшие достижения в области исследования физико-механических свойств, технологии производства и областей применения абразивных материалов. Представлен весь технологический цикл производства абразивных материалов в куске и зерне (шлифовальные материалы) и методы контроля их физико-механических, магнитных и других свойств. Во втором и третьем томах «Технология конструкционных материалов: абразивные инструменты» представлены фактические результаты систематического исследования как отечественных, так и зарубежных авторов и фирм по вопросам технологии получения, изучения свойств и областей применения абразивных материалов и изготовляемых из них абразивных инструментов на керамических и органических связках.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Машиностроение и материалообработка», а также студентов машиностроительных, политехнических и технологических вузов, аспирантов и преподавателей. Может быть полезным для инженеров и техников, работающих в области производства абразивных материалов и инструментов, инженеров-производственников и научных работников, специализирующихся в области материаловедения и машиностроения.

УДК 621.92(075.8)
ББК 34.638.7я73

ISBN 978-5-534-02125-7 (т. 3)
ISBN 978-5-534-01949-0

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 4. Методики, применяемые для определения физико-механических и химических свойств абразивных инструментов и керамических связок 6

Глава 5. Специальные виды абразивного инструмента 34

5.1. Абразивный инструмент для высокоскоростного шлифования 34
5.2. Высокопористый абразивный инструмент на керамической связке 72
5.3. Круги для шлифования шариков подшипников ("кероснка") 101
5.4. Абразивный инструмент для автомобильной промышленности 113
5.5. Абразивный инструмент с применением сферокорунда 118
5.6. Абразивные бруски на керамической связке 123
5.7. Абразивный инструмент на магнезиальной связке 136
5.8. Высокоструктурный абразивный инструмент 145

Глава 6. Производство абразивного инструмента на бакелитовой связке 146

6.1. Исходные материалы 146
6.2. Расчет рецептуры абразивного инструмента на бакелитовой связке 155
6.3. Бакелизация и оборудование для термической обработки инструмента 161
6.4. Абразивный инструмент для обдирочного шлифования 169
6.5. Технологические схемы производства кругов на бакелитовой связке для обдирочного шлифования 174
6.5.1. Технология изготовления абразивного инструмента на бакелитовой связке для обдирочного шлифования со скоростью 50 м/с и для чистового шлифования со скоростью 40 м/с 174
6.5.2. Технология изготовления абразивного инструмента диаметром 500–600 мм для обдирочного шлифования со скоростью 60-80 м/с 179
6.5.3. Технология изготовления на механизированной линии абразивного инструмента диаметром 600–800 мм для обдирочного шлифования со скоростью 80 м/с 184
6.6. Отрезные круги на бакелитовой связке 188
6.7. Техника безопасности 199

Глава 7. Производство абразивного инструмента на вулканитовой связке 201

7.1. Исходные материалы для производства инструмента на вулканитовой связке 204

7.2. Основы технологии и оборудование для приготовления вулканитовой связки и абразивной смеси 209
7.2.1. Подготовка сырьевых материалов 209
7.2.2. Оборудование для подготовки и перемешивания компонентов связки 211
7.2.3. Приготовление абразивной формовочной смеси 215
7.2.4. Формование абразивных кругов на вулканитовой связке 217
7.2.5. Поточно-механизированные линии для прокатки вулканитовых листов 218
7.2.6. Вулканизация абразивных кругов 222
7.3. Механическая обработка кругов на вулканитовой связке 223
7.4. Контроль качества кругов 224
7.5. Отрезные круги на вулканитовой связке 226
7.6. Полировальные круги на вулканитовой связке 229
7.7. Производство абразивного инструмента на органических связках за рубежом 231

Глава 8. Абразивный инструмент на гибкой основе 235
8.1. Виды шлифовальной шкурки 237
8.2. Технология производства неводостойкой шлифовальной шкурки на бумажной основе 239
8.2.1. Подготовка исходных материалов 239
8.2.2. Технология изготовления 245
8.3. Технология производства неводостойкой шлифовальной шкурки на тканевой основе 249
8.3.1. Подготовка исходных материалов 249
8.3.2. Технология и оборудование для изготовления шлифшкурки 253
8.4. Технология изготовления водостойкой шлифовальной шкурки на бумажной и тканевой основах 270
8.5. Технология изготовления однослойной шлифовальной шкурки на тканевой основе 271
8.6. Технология изготовления двухслойной шлифовальной шкурки на тканевой основе 273
8.6.1. Подготовка исходных материалов 273
8.6.2. Технология изготовления шлифовальной шкурки 273
8.7. Технология изготовления двухслойной водостойкой шлифовальной шкурки для обработки экранов кинесконов 275
8.7.1. Подготовка исходных материалов 275
8.7.2. Технология изготовления микронной шлифовальной шкурки 276
8.8. Контроль качества шлифовальных шкурок 277
8.9. Маркировка, упаковка и хранение рулонов шлифовальной шкурки 285
8.10. Техника безопасности 287
8.11. Изделия из шлифовальной шкурки и их производство 289
8.12. Области применения шлифовальной шкурки и изделий из нее 309

8.13. Выпуск шлифовальной шкурки за рубежом и в странах СНГ 325

Глава 9. Специальные виды абразивного инструмента на органических связующих 332

9.1. Абразивный инструмент на основе связующего вспененного поливинилформаля 332

9.2. Высокопористый абразивный инструмент на бакелитовой связке 334

9.3. Шлифовальные сегменты 337

9.4. Абразивные бруски для хонингования 341

9.5. Инструменты на глифталевой связке 343

9.6. Абразивные инструменты (шлифовальные шевера) на органических связках 344

9.7. Полировальные круги из тканевых материалов и корда 352

Библиографический список 360

Глава 4

МЕТОДИКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И КЕРАМИЧЕСКИХ СВЯЗОК

В настоящее время в абразивной промышленности контролируются лишь некоторые физико-механические свойства абразивного инструмента и керамических связок: механическая прочность абразивных кругов — по ГОСТ 30513−97 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52588−2006) "Инструмент абразивный и алмазный. Методы испытания на безопасность"; твердость — по ГОСТ 18118−79, ГОСТ 21322−75, ГОСТ 23671−79 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52587−2006) и ГОСТ 25961−83 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52710−2007); влажность формовочных смесей — по ГОСТ 19691−74 "Влажность материалов"; химический состав связок — по ОСТ 2МТ66-1−92; зерновой состав связок и огнеупорность — по ТУ 2-036-0984−86 "Связки керамические", ТУ 3989-014-5748371−99 "Связки керамические гранулированные"; содержание кварца в полевошпатовом материале — по ГОСТ 20543−75.

Все остальные свойства определяются либо по методическим рекомендациям, либо по неаттестованным методикам, которые разработаны ВНИИАШем и ВолжскВНИИАШем [235, 236]:

для сырья и связок — удельная поверхность, реакционная способность, растекаемость, смачиваемость, микротвердость, высокотемпературная вязкость, коэффициент линейного расширения, взаимодействие связки со шлифзерном;

для формовочных смесей — сыпучесть;

для сырой и высушенной заготовки круга — прочность свежезаформованных образцов, прочность высушенных образцов, осыпаемость;

для обожженных образцов — прочность на разрыв и изгиб, модуль нормальной упругости, теплопроводность, газопроницаемость, пористость;

для готовых изделий — плотность и структура.

Методика контроля зернового состава связок. В формовочной смеси в качестве метода определения массовой доли и размера зерен связок применяется "мокрый" рассев массы связки с последующим определением массовых долей зерен связки, задерживающихся на сите с сеткой № 0063 по ГОСТ 6613–86.

Среднюю пробу связки массой 100±5 г, взвешенной на лабораторных весах типа ВЛР-200 (ГОСТ 24104–2001), высыпают на сито с сеткой № 0063. Сито помещают под струю воды и осторожно промывают, не допуская разбрызгивания, до тех пор пока вода не будет прозрачной. Сито с оставшейся на нем массой зерен помещают в электрошкаф и высушивают при температуре T= 100–150 °С до свободного высыпания зерен связки с сетки. Затем пробу из сита высыпают на отдельный лист кальки. При этом допускается легкое постукивание по обечайке сита или очистка кисточкой отдельных застрявших зерен, которые добавляют к пробе на кальке.

Массовую долю зерен связки x, задерживающихся на сите с сеткой № 0063, рассчитывают по формуле

$$x = M_1/M \cdot 100\ \%,$$

где M — масса средней пробы, помещенной на сито с соответствующей сеткой, г; M_1 — масса зерен связки, задерживающихся на сите с соответствующей сеткой, г.

Подсчет массовой доли зерен связки, задержавшихся на сите с соответствующей сеткой, производят с точностью до 1 %.

При необходимости более детального изучения зернового состава связки фракцию мельче 40 мкм подвергают дополнительному анализу. Это может быть просмотр образца под микроскопом с визуальным определением распределения частиц по размерам. Более точные результаты могут быть получены с помощью седиментационных методов анализа.

Методика определения огнеупорности керамических связок. Огнеупорность — это способность материала противостоять, не расплавляясь, воздействию высоких температур.

Сущность метода определения огнеупорности заключается в сравнении температур падения конусов, изготовленных из испытуемого материала, и стандартных керамических пироскопов (ГОСТ 21739–76) при заданных условиях нагрева. Под "падением" пироскопа понимается дугообразное его изгибание в заданных условиях нагрева до момента, когда вершина пироскопа коснется горизонтальной плоскости подставки, на которой он установлен.

Методика определения огнеупорности керамических связок подробно изложена в технических условиях на керамические связки: ТУ 2-036-0984–86 и ТУ 3989-014-05748371–99.

Методика определения удельной поверхности связок. Под удельной поверхностью измельченных твердых тел понимают отношение общей поверхности измельченного тела к его массе или объему. При определении удельной поверхности керамической связки используют отношение поверхности частиц к их массе.

Определение удельной поверхности связки ведется на приборе Д-Ш (установка Дерягина) (рис. 4.1).

Исследуемая связка (порядка 50 г) просеивается через сито с сеткой 025, высушивается при температуре 110±5 °С в сушильном шкафу до постоянной массы смеси (50–60 мин) и помещается в эксикатор для остывания. Из приготовленной массы отбирается навеска, равная 4 г, для работы на приборе.

Штангенциркулем замеряется длина кюветы со вставленным в нее пуансоном (l_0). В кювету засыпается навеска исследуемой связки, и производится запрессовка образца в кювете при давлении от 8,82 до 9,8 МПа. После чего вновь замеряется длина кюветы с навеской и пуансоном (l_1) и кювета помещается в вакуумную камеру прибора Дерягина, где производится уплотнение образца вращением винтового металлического зажима. Затем, закрыв краны *4* и *9* (см. рис. 4.1), открывают винтовой зажим *3* и кран *6* и включают вакуумный насос, открывая кран *9*. При установлении ртути в обоих коленах манометра *8* на одном уровне открывают кран *4*. После установления постоянного уровня масла в реометре без изменения перекрывают кран *6*, по достижении стационарного режима течения воздуха сквозь исследуемый образец (без изменения давления) производят измерение показаний реометра *2* (h_g) и дифференциальным манометром *5* определяют перепад давления на образце (h_p).

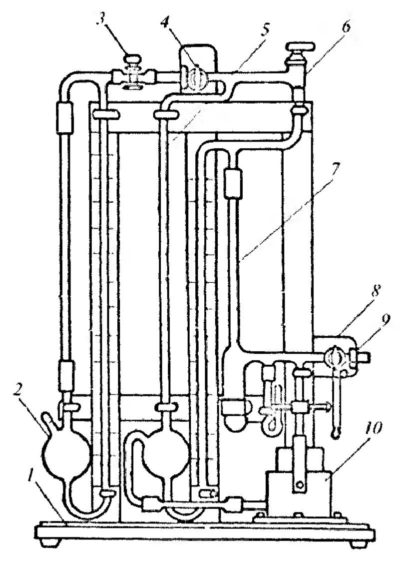


Рис. 4.1. Прибор Дерягина для определения удельной поверхности порошков:
1 — подставка; *2* — реометр; *3* — винтовой металлический зажим; *4* — кран; *5* — дифференциальный манометр; *6* — кран; *7* — ловушка; *8* — ртутный манометр; *9* — кран; *10* — металлическая вакуумная камера

Удельная поверхность связок рассчитывается по формуле

$$S_0 = K\frac{\delta^2}{m}\frac{h_p}{h_g},$$

где S_0 — удельная поверхность связок, м²/г; $K = 180\,\dfrac{dS^2\sqrt{T}}{b_0 p 10^4}$ — постоянная установки (d — плотность жидкости, заполняющей дифференциальный манометр, г/см³ (из паспортных данных прибора), S — площадь основания кюветы, см², $\delta = 1 - \dfrac{m}{(l_1 - l_0)\rho S}$ — пористость, m — навеска связки, г, $l_1 - l_0$ — высота слоя связки, см; ρ — плотность связки, г/см³, T — температура опыта, К; b_0 — постоянная капилляра реометра, см²/с, p — атмосферное давление, мм рт. ст.); h_g — показания шкалы дифференциального манометра, см, h_p — показания шкалы реометра, см.

За результат испытаний принимается среднее арифметическое величины удельной поверхности, определенной на пяти навесках исследуемой связки. Погрешность измерения удельной поверхности при доверительной вероятности $P = 0,9$ не превышает ± 10 %.

Методика определения содержания кварца в полевошпатовых материалах и связках. Сущность метода заключается в вычислении разности между общим содержанием диоксида кремния SiO_2, определяемым химическим анализом по ГОСТ 20543.2–75, и расчетным количеством связанного диоксида кремния.

После определения химическим анализом в исследуемом материале содержания диоксида кремния, оксидов натрия, калия, кальция и магния расчетным путем определяют содержание диоксида кремния, связанного при образовании $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$; $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$; $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

При расчете принимают, что при образовании $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ необходимо 3,83 % SiO_2 на каждый процент оксида калия K_2O; при образовании $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ необходимо 5,8 % SiO_2 на каждый процент оксида натрия Na_2O; при образовании $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ необходимо 2,14 % SiO_2 на каждый процент оксида кальция CaO; на каждый процент оксида магния MgO необходимо 3,0 % SiO_2.

Содержание связанного диоксида кремния X_p в процентах вычисляют по формуле

$$X_p = \%\ K_2O \cdot 3{,}83 + \%\ Na_2O \cdot 5{,}81 + \%\ CaO \cdot 2{,}14 + \%\ MgO \cdot 3{,}00.$$

Содержание кварца X в процентах вычисляют по формуле $X = X_o - X_p$, где X_o — общее содержание диоксида кремния, определенное химическим анализом, %, по ГОСТ 20543.2–75.

Методика определения реакционной способности керамических связок. Под реакционной способностью керамической связки понимают ее способность химически взаимодействовать с абразивным зерном корунда, растворяя его в процессе обжига абразивного инструмента.

Определение степени растворения корунда в связке осуществляется на стандартных образцах изделий, изготовленных в одинаковых условиях с применением связки, химический состав которой предварительно определен. Кусочек образца обрабатывают плавиковой кислотой в присутствии серной кислоты для отделения зерна от связки, затем производят химический анализ связки, определяя содержание в ней Al_2O_3. Сравнивая первоначальный химический состав связки с составом связки, полученной при разложении образца, устанавливают прирост Al_2O_3.

Реакционную способность выражают в процентах и определяют расчетным путем по формуле

$$R = \frac{\Delta Al_2O_3}{K_{Al_2O_3}} 100,$$

где R — реакционная способность, %; ΔAl_2O_3 — приращение оксида алюминия в связке обожженного абразивного инструмента, %; $K_{Al_2O_3}$ — содержание оксида алюминия в исходной связке, %.

При отделении связки от зерна корунда наблюдается частичное растворение плавиковой кислотой и самого корунда, однако при использовании стандартных образцов ошибка в определении прироста Al_2O_3 будет постоянной.

Щелочные связки (со значительным количеством в них щелочных оксидов), содержащие в своем составе B_2O_3, F, обладают более значительной реакционной способностью. Связки, характеризующиеся высокой вязкостью, менее реакционноспособны (табл. 4.1) [237].

Методику определения реакционной способности керамических связок впервые разработала Л.Ф. Рентель (ЦНИЛАШ, 1935 г.), а в дальнейшем усовершенствовала и применила в своих работах Н.Е. Филоненко [238]. Погрешность метода ±10 %.

Авторы [237], анализируя вязкость и реакционную способность связок, делают следующие выводы:

реакционная способность керамической связки находится в прямой зависимости от содержания в ней щелочей;

наиболее интенсивно процесс растворения корундового зерна связкой происходит в интервале температур 650–1050 °С;

взаимодействие керамической связки с корундом в процессе обжига способствует повышению механической прочности абразивного инструмента.

По данным [237] реакционная способность определяется содержанием Al_2O_3 в исходной связке и делят по этому признаку все исследованные связки на три группы:

1) низкоглиноземистые с содержанием в исходной связке Al_2O_3 менее 10 %;

2) среднеглиноземистые с содержанием Al_2O_3 от 10 до 20 %;

3) высокоглиноземистые с содержанием Al_2O_3 более 20 %.

Реакционная способность керамических связок этих групп подчиняется следующему правилу: $R_1 > R_2 > R_3$. Внутри выделенных групп керамические связки по своей реакционной способности разделяются на следующие подгруппы: А — высокощелочные кальциево-магниевые; Б — щелочные с невысоким содержанием CaO и MgO; В — низкощелочные борсодержащие; Г — низкощелочные.

Реакционная способность керамических связок указанных подгрупп подчиняется следующему правилу: $R_А > R_Б > R_В > R_Г$.

На основании расчетов реакционная способность различных керамических связок может быть представлена следующими формулами:

$$R_А = 9{,}07(30{,}4 - K_{Al_2O_3});$$

$$R_Б = 7{,}40(28{,}0 - K_{Al_2O_3});$$

$$R_В = 4{,}15(28{,}8 - K_{Al_2O_3});$$

$$R_Г = 2{,}17(28{,}4 - K_{Al_2O_3}).$$

Эти формулы справедливы для высоко- и среднеглиноземистых керамических связок и для температуры обжига 1200–1300 °С.

Авторы [239] считают, что подобный способ оценки реакционной способности связок является весьма условным, искусственно ставящим показатель R в зависимость от содержания Al_2O_3 в исходной сырой связке. К тому же этим расчетом не предусматривается растворение шлифзерна при отделении связки, поэтому правильнее считать сравнение увеличения содержания оксида алюминия в связке, выделенной из обожженного инструмента, с содержанием оксида алюминия в шлифзерне черепка. Такое соотношение $K_р$ будет весьма близко характеризовать относительное количество корунда, растворенного связкой. По результатам химического анализа определяют следующие показатели реакционной способности керамических связок к шлифзерну электрокорундовых материалов: R, Δa и $K_р$. Последние рассчитываются по формулам

$$\Delta a = \frac{a_1 - a_0 - П_1}{a_0} 100, \text{ \% к массе черепка;}$$

Таблица 4.1

Реакционная способность керамических связок в зависимости от их химического состава

Номер связки	Химический состав исходных связок, %										Огнеупорность, °С	Содержание Al_2O_3 в связке после обжига, %	Прирост Al_2O_3 в связке, %	Реакционная способность *R*, %
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	B_2O_3	п.п.п.				
1	60,47	25,4	0,32	0,43	1,06	0,26	3,42	3,43	–	4,70	1280	26,60	1,20	4,70
2	57,56	24,38	0,44	1,42	0,80	3,30	3,10	3,45		6,70	1200	26,65	1,27	9,30
3	60,05	24,06	0,52	1,25	1,04	0,17	2,69	3,14	3,4	4,76	1190	28,10	1,04	16,80
4	57,72	22,44	0,39	1,38	1,19	3,40	2,93	3,27	2,6	5,68	1140	28,40	5,96	26,50
5	55,67	25,89	0,52	1,59	1,03	3,41	3,05	3,06		6,57	1200	27,90	2,01	7,80
6	57,65	23,02	0,46	1,50	0,80	3,95	3,96	3,45	–	5,85	1180	24,63	1,56	6,75
7	60,61	17,31	0,26	0,99	0,79	3,39	2,33	3,32	6,8	4,80	1040	24,68	7,37	42,50
8	59,84	18,26	0,39	1,35	1,14	3,40	1,72	2,61	6,8	5,70	1180	25,61	7,35	40,10
9	60,23	18,05	0,43	1,43	0,80	3,31	2,03	3,09	5,1	5,40	1120	26,43	8,38	46,50
10	67,68	16,58	1,34	2,40	1,45	0,54	Нет	9,91			1150	26,50	9,92	59,0
11	67,73	12,50	0,80	1,70	1,40	0,60	"	14,80			970	28,07	15,57	124,5
12*	67,48	3,04	Нет	1,27	1,40	0,82	"	25,74			650	28,98	25,94	861,0
13	69,14	11,31	1,14	1,91	5,40	0,62	"	10,14			1060	26,48	15,17	134,0
14	67,92	11,56	1,20	1,94	1,25	5,10	"	10,66	–	–	1090	30,61	19,05	164,6
15	67,72	13,02	0,45	2,36	0,40	0,56	5,43	10,09			1080	27,44	14,42	108,0
16	72,56	8,57	–	1,42	0,90	5,04	4,71	6,70	–	–	1020	26,26	17,70	206,0
17	86,70	15,30	–	0,38	0,92	5,60	–	8,80			1200	27,85	12,60	83,0
18	61,50	14,30	0,81	0,55	8,20	0,36	–	15,00	–	–	840	33,81	19,50	136,0
19	62,60	21,73	0,46	1,88	0,92	5,97		5,97	–		1230	30,13	8,40	39,0
20	55,90	20,70	–	0,40	12,30	0,42		10,40			1120	36,75	16,10	78,0
21	49,60	27,40		0,65	16,60	0,25		5,40			1220	36,46	9,00	33,0

* Силикат натрия технический.

$$K_p = \frac{[Al_2O_3]_\text{э} - [Al_2O_3]_0 - П_2}{[Al_2O_3]_{0.з}} 100, \text{ \% к массе черпка,}$$

где $a_\text{э}$, $[Al_2O_3]_\text{э}$ — экспериментально найденные содержания связки и оксида алюминия в связке обожженного черепка; a_0, $[Al_2O_3]_0$ — те же величины, полученные расчетом по данным шихтового состава черепка с учетом химических составов связки и увлажнителя; $[Al_2O_3]_{0.з}$ — содержание оксида алюминия в шлифзерне; $П_1$, $П_2$ — поправки на убыль массы шлифзерна при отделении связки и на переход при этом некоторого количества оксида алюминия в раствор, рассчитываемые по формуле $П_1 = \frac{bC_t}{100}$ (b — расчетное содержание шлифзерна в черепке инструмента, %; C_t — убыль массы или количество Al_2O_3 в растворе после обработки термообработанного зерна кислотами, применяемыми для отделения связки, %).

В табл. 4.2 представлены результаты реакционной способности керамических связок.

Методика определения растекаемости (текучести) керамических связок. Растекаемость характеризует поведение связки в процессе обжига. С повышением температуры при обжиге количество жидкой фазы в связке постепенно возрастает, текучесть увеличивается при снижении вязкости связки.

В абразивной промышленности непосредственно определяется не вязкость расплава связки, а растекаемость (текучесть) [7].

От готовой связки отбирают пробу 20–30 г и просеивают через сетку № 018, увлажняют и вновь пропускают через сетку № 1. Затем отвешивают 4,5 г связки и формуют из нее цилиндрики диаметром 15 мм и высотой 15 мм. Цилиндрики устанавливают на огнеупорную плиту в строго вертикальном положении и помещают в печь, повышая температуру в печи со скоростью 3 °С в минуту до достижения конечной температуры обжига изделий.

По мере повышения температуры цилиндрики начинают плавиться и растекаться на огнеупорной плите (рис. 4.2). После термической обработки измеряют

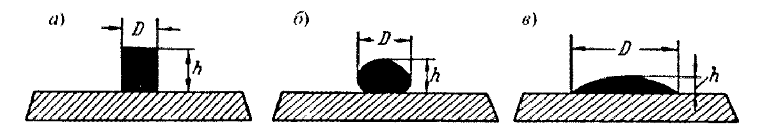


Рис. 4.2. Растекаемость связок по горизонтальной плоскости:
а — начальное состояние; *б* — промежуточное состояние; *в* — конечное состояние

штангенциркулем в шести местах диаметр растекшегося цилиндрика *D*, среднее значение делят на величину диаметра заформованного цилиндрика.

Величину растекаемости вычисляют по формуле

$$\mu = d/D \cdot 100 \text{ \%},$$

где D — диаметр растекшегося цилиндрика после термической обработки, мм; d — диаметр заформованного цилиндрика, мм; μ — растекаемость, %.

Погрешность метода ±(3–4) %.

Таблица 4.2

Показатели реакционной способности керамических связок

Марка связки	Количество связки в формовочной смеси, мас. % на 100 мас. ч. шлифзерна	Химический состав связки		Увеличение содержания после обжига по сравнению с расчетными величинами, %			Показатели реакционной способности связки			Прочностные характеристики инструмента, МПа	
		Содержание Al_2O_3, %	Оксиды	связки	оксида к связке	алюминия к массе черепка	R	Δa	$K_р$	Сопротивление разрыву	Сопротивление изгибу
К8	8,5	21,73	Na_2O, K_2O	0,22	0,19	0,02	0,6	2,4	0,02	7,1	–
К5	8,5	17,34	Na_2O, K_2O, B_2O_3	0,56	3,72	0,45	21,4	0,2	0,50	12,1	–
Опытная 1	8,5	16,58	Na_2O, K_2O, B_2O_3, F	0,57	5,49	0,60	33,1	6,4	0,66	15,2	–
К43	8,5	17,24	Na_2O, K_2O, Li_2O, B_2O_3	0,60	6,59	0,73	38,2	7,1	0,81	15,5	–
К6	12	18,75	Na_2O, K_2O, B_2O_3	0,70	0,45	0,06	2,4	5,9	0,07	14,7	30,4
К43	12	19,07	Na_2O, K_2O, Li_2O	1,12	0,25	1,01	32,8	8,5	1,15	21,5	44,0
Опытная 2	12	15,92	Na_2O, K_2O, Li_2O, F, BaO	0,74	5,42	0,69	34,0	6,1	0,82	18,2	38,5
Опытная 3	12	14,91	Na_2O, K_2O, Li_2O, BaO, B_2O_3	0,80	8,03	0,99	57,9	6,7	1,13	18,1	37,4

Методика определения смачивания керамическими связками абразивных материалов. Смачиванием называется физико-химическое явление самопроизвольного увеличения площади контакта жидкости с поверхностью твердого тела под действием поверхностных (капиллярных) сил.

За величину, характеризующую смачивание керамическими связками абразивных материалов, принят краевой угол смачивания (угол растекания $\theta_р$), определяемый методом покоящейся капли [240]. Сущность метода заключается в том, что исследуемый образец помещают на плоскую, горизонтально расположенную поверхность и нагревают до перехода в жидкое состояние. Изображение получившейся капли проецируют на фотопластинку и фотографируют. Краевой угол определяют построением касательной к поверхности жидкости около трехфазной границы [241]. Точность метода составляет 3–4 %. На рис. 4.3 представлена схема построения касательной к поверхности жидкости около трехфазной границы для определения угла смачивания.

Построение касательной связано с известными погрешностями, поэтому параллельно значение угла смачивания рассчитывают по формуле [242]

$$\operatorname{tg}\frac{\theta}{2} = \frac{2h}{l},$$

где h — высота капли; l — диаметр ее основания.

Абразивные материалы могут быть представлены в виде монокристаллов (например, карбида кремния) или небольших кусочков, вырезаемых из образца

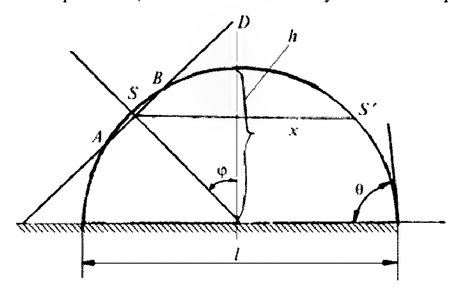


Рис. 4.3. Схема построения касательной для определения угла смачивания

материала. Эти кусочки (примерно 10 × 5 × 5 мм) тщательно подшлифовывают на шлифовальном станке при помощи алмазных планшайб по методике [243] до получения плоскопараллельных пластинок толщиной 2–3 мм, так как отклонение от параллельности увеличивает погрешность в определении краевого угла смачивания $\theta_р$. Полученную пластинку раскалывают на три-четыре пластинки, которые используют для проведения опытов.

На подготовленную пластинку абразивного материала помещают кусочки предварительно уплотненной связки массой примерно 3 г и устанавливают ее в печь высокотемпературного нагревательного микроскопа, работающего по следующему режиму: скорость нагрева до температуры на 150–200 °С ниже заданной составляет в среднем 10 °С в минуту; при температуре ниже заданной на 150–100 °С скорость нагрева снижают до 5 °С в минуту, а нагрев 20–50 °С осуществляют со скоростью 2–3 °С в минуту. Продолжительность нагревания 2,0–2,5 ч [244]. Потом образец охлаждают в печи до 700 °С, а затем на воздухе.

В процессе нагревания образца его фотографируют при увеличении ×5 и времени экспозиции 3 с (для фотопластинок 22 ед. по ГОСТ 2817–50). Изменение размеров образца в процессе нагревания оценивают по изменению высоты его силуэта на фотографиях. Среднее значение краевого угла смачивания определяют из замеров правого и левого углов проекций, окончательная величина выводится из трех-четырех замеров (фотографий). За истинное значение краевого угла смачивания при заданной температуре принимают угол смачивания, который не меняет своего значения при выдержке образца в течение часа.

Характер взаимодействия на границе абразивный материал — связка определяется значением адгезии $W_а$ по формуле

$$W = \sigma_ж(1 + \cos\theta_р),$$

где $\sigma_ж$ — поверхностное натяжение связки, определяемое экспериментально, или рассчитывается по формулам аддитивности [245].

Подобная методика позволяет в случае необходимости изучать фазовые превращения в контактной зоне. Для этого изготовляют аншлиф перпендикулярно поверхности контакта.

Образец может быть использован и для иммерсионного анализа.

В табл. 4.3 представлены значения краевых углов смачивания промышленных связок [246, 247].

Для керамических связок, используемых в производстве абразивного инструмента, погрешность метода определения смачивания составляет ±10 %, а значение работы адгезии — от 500 до 700 эрг/см^2.

Методика определения микротвердости керамических связок. Для определения микротвердости керамических связок используют принцип вдавливания пирамиды с острой вершиной. Так как связка образует в процессе обжига между шлифзерном узкие прослойки, то определить ее твердость классическими методами Бринеля и Роквелла либо затруднительно, либо совсем невозможно.

Твердость исходной, отдельно термообработанной связки и прослоек ее в инструменте измеряют на приборе для определения микротвердости ПМТ-3 по стандартной методике, прилагаемой к описанию прибора. Объектом определения микротвердости служит аншлиф, изготовленный из кусочка исходной связки, термообработанной в условиях обжига инструмента, и аншлиф, изготовленный из самого инструмента. В последнем случае для определения микротвердости выбирают более широкие мостики связки.

Сравнение значений микротвердости исходной связки и связки в инструменте дает информацию об изменении состава связки в процессе ее обжига.

Погрешность измерения микротвердости связок лежит в пределах ±10 %.

Микротвердость применяемых в производстве абразивного инструмента керамических связок лежит в пределах 650–800 кг/мм^2.

Методика определения высокотемпературной "вязкости" керамических связок. Для определения вязкости керамических связок применяют метод деформации под нагрузкой. Этот метод является достаточного точным и удобным, так как позволяет наблюдать за поведением связки в определенном интервале температур.

Сущность метода заключается в том, что при определении деформации под нагрузкой определяют точку начала деформации, которую обычно принимают за начало образования жидкой фазы связки, т. е. за начало перехода связки в пластическое состояние. Определение температуры перехода связки в пластическое состояние позволяет выбрать оптимальный режим обжига инструмента, изготовленного на этой связке.

Таблица 4.3

Значения краевых углов смачивания промышленных связок при различных температурах

Марка связки	Температура обжига, °С	Значения краевого угла смачивания, град
К5	1200	52
	1250	28
	1300	21
К20	1200	86
	1250	74
	1300	50
К15	1200	90
	1250	78
	1300	52
К11	1200	88
	1250	78
	1300	33
К43	1000	40
	1250	5
	–	–
К50	1000	45
	1250	10
	–	–
К12	1200	60
	1250	54
	1300	35
К8	1200	Не растекается
	1250	
	1300	
К1	1200	
	1250	
	1300	
К3	1200	
	1250	
	1300	
К10	1200	120
	1250	110
	1300	80
5	1200	62
	1250	48
	1300	38

Для определения деформации под нагрузкой из связки изготавливаются образцы в виде цилиндриков диаметром 36,7 мм и высотой 50 мм, которые устанавливают в печь между двух стержней из огнеупорных материалов. На верхний стержень подается груз массой до 2 кг. При повышении температуры под действием груза образец деформируется, оседает и уменьшается по высоте (рис. 4.4).

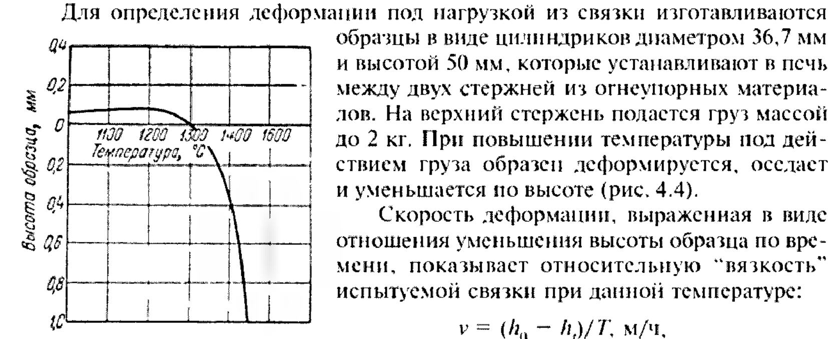


Рис. 4.4. Характер деформации под нагрузкой при нагреве образцов стекающихся связок

Скорость деформации, выраженная в виде отношения уменьшения высоты образца по времени, показывает относительную "вязкость" испытуемой связки при данной температуре:

$$v = (h_0 - h_t)/T, \text{ м/ч},$$

где v — скорость деформации; h_0 — первоначальная высота образца, мм; h_t — конечная высота образца, мм; T — время.

Точность метода составляет ±10 %.

При определении деформации под нагрузкой отмечается точка начала этой деформации, которую обычно принимают за начало образования жидкой фазы, т. е. за начало перехода ее в пластическое состояние.

Методика определения температурного коэффициента линейного расширения стекол и керамических связок на их основе. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) фритт и керамических связок определяется дилатометрическим методом как отношение относительного удлинения образца к разности температур в соответствующем интервале.

Измерение ТКЛР и испытания образцов производятся на кварцевых дилатометрах различных конструкций. В настоящей методике применен кварцевый дилатометр конструкции Института химии силикатов АН СССР, работающий с интервалом температур 20–900 °С (рис. 4.5).

Испытанию подвергаются образцы в виде призмы прямоугольного сечения размером 50 × 4 × 8 мм либо в виде цилиндра диаметром от 3 до 4 мм и высотой 50 мм. Микрометром измеряется начальная длина образца l_0, и образец помещается в вырез опорной трубы *1* (см. рис. 4.5) дилатометра, сверху накладывается кварцевая пластина и винтом микроподачи *9* кварцевая трубка *12* подводится до соприкосновения с образцом. Нагрев в печи *14* образца *15* производится до заданной температуры с изотермической выдержкой и последующим охлаждением. Изменение длины образца в зависимости от температуры регистрируется в виде дилатометрической кривой на диаграмме потенциометра ПДП4, где производится отсчет l_1 и l_2 при t_1 и t_2.

Средний ТКЛР $\alpha_{\text{ср}\,t_1\,t_2}$ в интервале температур от t_1 до t_2 определяется как отношение величин относительно удлинения тела $\varepsilon = \dfrac{l_2 - l_1}{l_0}$ и соответствующего интервала температур:

$$\alpha_{\text{ср}\,t_1\,t_2} = \frac{l_2 - l_1}{l_0(t_2 - t_1)},$$

где l_0, l_1, l_2 — длина тела соответственно при температурах t_0, t_1, t_2.

За результат измерения принимается среднее арифметическое значение величины четырех измерений одного образца. Погрешность измерений ТКЛР образца при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ не должна превышать ±1 %.

Методика определения взаимодействия связки со шлифовальным зерном под микроскопом. Взаимодействие связки с абразивным материалом проявляется в контактной зоне связка — шлифовальное зерно [236]. Плотность контакта зерна со связкой, степень их взаимодействия, контактные минералообразования, однородность связки, а также изменения, происходящие с сопутствующими корунду фазами, анализируют в аншлифах, изготовленных из кусочков абразивного инструмента, при увеличении ×(200–300).

Процесс взаимодействия шлифзерна со связкой условно можно разделить на три стадии. При слабом растворении связкой зерна электрокорунда сохраняют свои контуры, лишь на острых выступах и впадинах наблюдается их овализация. При увеличении реакционной активности связки контуры зерен корунда становятся изъеденными, кружевными. Однако сильно изъеденные контуры зерен еще не могут свидетельствовать об окончании процесса растворения зерен связкой, хотя режим обжига и последующего охлаждения выдержан. И наконец, когда контуры большого числа зерен сильно овализованы, можно сделать заключение, что процесс активного растворения связкой шлифзерен закончен и происходит выравнивание состава связки от зерна вглубь прослоек или мостков связки.

В результате растворения связкой шлифовальных зерен химический состав ее изменяется и в зоне связка—электрокорунд могут наблюдаться шпинель $MgO{\cdot}Al_2O_3$, кордиерит $2MgO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}5SiO_2$ и анортит $CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$.

О природе новообразований в контактной зоне можно судить по составу связки, по форме разрезов и окраске кристаллов, проводя наблюдения при увеличении ×(500–800).

В абразивном инструменте из шлифзерна и шлифпорошка титансодержащих электрокорундов в контактной зоне зерна и связки может происходить образование щетки рутила на корунде за счет распада твердого раствора титана в нем. При глубоком распаде твердого раствора происходит насыщение диоксидом титана мостиков связки на всю глубину, что приводит к выделению рутила и анатаза не только на контакте с корундом, но и в мостиках связки.

Методика определения сыпучести формовочной смеси. Критериями оценки сыпучести порошковых материалов могут служить угол внутреннего трения, угол осыпания, угол обрушения, угол естественного откоса, скорость высыпания порошка из бункера и т. д. Наиболее распространено определение сыпучести по углу естественного откоса [248]. Недостатком этого способа определения является невысокая точность измерения.

Из имеющихся способов контроля сыпучести материалов наиболее широко используется способ определения этой характеристики по скорости высыпания материала из воронки [249].

По этому принципу работает прибор, схема которого приведена на рис. 4.6.

Диафрагма *10* прибора имеет пять калиброванных отверстий диаметрами 12, 14, 16, 18 и 20 мм, через которые поочередно из воронки *11* высыпается 200-граммовая навеска формовочной смеси, скорость высыпания которой контролируется электросекундомером *5*. По известной методике (ГОСТ 5180–75) определяется масса просыпанной смеси. Подобный цикл производится по всем пяти отверстиям в диафрагме. При наличии зависания формовочной

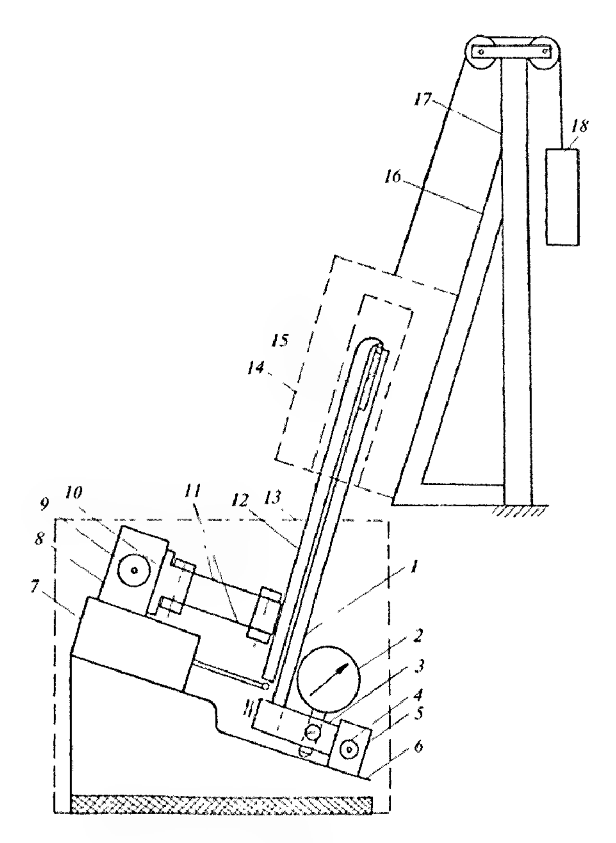


Рис. 4.5. Принципиальная схема кварцевого дилатометра:
1 — опорная кварцевая трубка с вырезом в верхней части; *2* — многооборотный индикатор типа 1МИГ; *3* — кронштеин; *4* — винт микроподачи; *5* — стойка; *6* — основание; *7* — кожух механотрона типа 6МХ1С; *8* — стойка; *9* — винт микроподачи; *10* — кронштеин; *11* — плоские пружины; *12* — передающая кварцевая трубка; *13* — воздушный термостат; *14* — электрическая печь; *15* — образец; *16* — направляющие; *17* — опорная колонна; *18* — противовес

смеси в воронке с диаметром 20 мм смесь из воронки высыпается и считается несыпучей.

Сыпучесть исследуемой формовочной смеси рассчитывается по формуле

$$v = m/t, \text{ кг/м},$$

где v — скорость сыпучести формовочной смеси, кг/с; m — масса навески, кг; t — время сыпучести формовочной смеси, с.

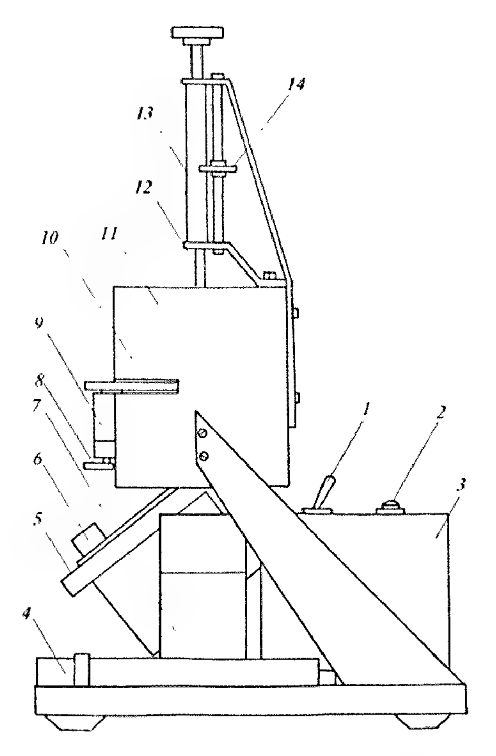


Рис. 4.6. Принципиальная схема прибора для определения сыпучести формовочной смеси:

1 — тумблер; *2* — сигнальная лампочка; *3* — фотоэлектрическое реле; *4* — поддон; *5* — электросекундомер; *6* — переключатель; *7* — стакан; *8*, *14* — защелка; *9* — замок; *10* — диафрагма; *11* — воронка; *12* — шарообразный затвор; *13* — механизм открывания затвора

За результат принимается среднее арифметическое результатов сыпучести пяти навесок. Погрешность измерений при доверительной вероятности P = 0,9 не должна превышать ±2 %.

Методика определения прочности свежезаформованного образца. Характеристикой механической прочности свежезаформованного образца является предел прочности на изгиб. Определение механической прочности свежезаформованных образцов на изгиб производят на приборе, представленном на рис. 4.7, со скоростью движения образца 0,01 м/с. Погрешность измерения на этом приборе составляет ±5,2 %. Несмотря на большую погрешность в измерениях, этот способ получил широкое распространение благодаря его простоте.

Испытанию подвергаются бруски размером 245 × 35 × 10 мм. Образец ставится на планку *4*, которая приводится в движение толкателем *6*. Когда вес выступающей части образца превысит предельные сопротивления изгибу, он разрушается. Механическая прочность на изгиб вычисляется по формуле

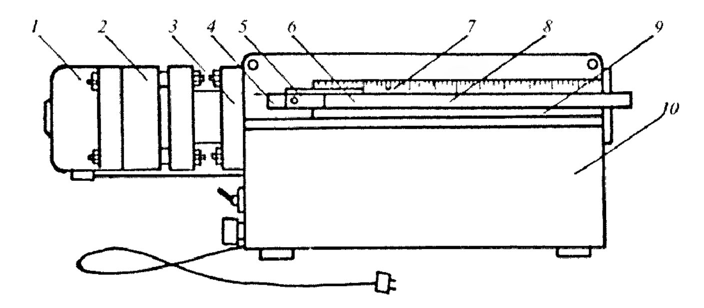


Рис. 4.7. Прибор конструкции ВНИИАШа
для определения прочности сырца по методу Дотти:
1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — фланец крепления редуктора; *4* — планка; *5* — рычаг толкателя; *6* — толкатель; *7* — линейка; *8* — рейка; *9* — съемная планка; *10* — станина

$$\sigma = \frac{3\gamma l^2}{h},$$

где γ — объемный вес испытываемого образца; l — длина отламывающихся кусков; h — высота образца.

Более точным способом определения механической прочности свежезаформованных образцов является способ, основанный на трехточечном или четырехточечном изгибе с постепенно увеличивающейся нагрузкой *P*. Принципиальная схема прибора изображена на рис. 4.8.

Образец *7* размером 120 × 20 × 20 мм находится на двух опорах *6* и испытывает воздействие сосредоточенной нагрузки *F*, создаваемой упором *5* и возрастающей по мере перемещения груза *3* по рейке *2* от нулевого положения (точка *O*) до точки *A*, осуществляемого с помощью винтовой передачи *4* электродвигателем *1*. Механическая прочность образца на изгиб вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{3}{2} l \frac{P}{bh^2} \frac{OB}{OA},$$

где l — расстояние между опорами, мм; P — масса передвигающегося груза, кг; b, h — ширина и высота образца соответственно, мм; OB, OA — плечи рычага, мм.

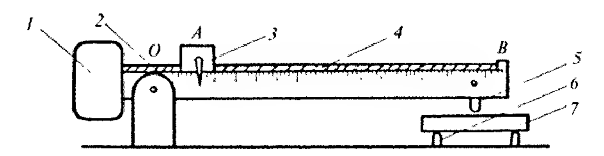


Рис. 4.8. Прибор для определения прочности сырца
методом трехточечного изгиба:
1 — электродвигатель; *2* — рейка; *3* — груз; *4* — винтовая передача; *5* — упор; *6* — опоры; *7* — образец

Данный метод не учитывает распределенной нагрузки, возникающей под действием собственной массы образца, вызывающей разрушение образцов с малой механической прочностью.

Более совершенным является метод проведения испытаний на разработанной В.И. Могиленским и А.А. Куровым установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 4.9 [250].

По этой схеме испытываемый образец *21* размером 120 × 120 × 20 мм устанавливается на опоры *22* и поворотом рукоятки *19* поднимается до упора *20*. Направление приложения нагрузки должно совпадать с направлением прессования образца. С помощью электродвигателя *10* происходит передвижение образца (со скоростью 0,01 м/с) вправо вдоль рамы каретки *12* с грузом *5* с постепенным увеличением нагрузки на образец. Через определенное время, когда нагрузка на образец превысит критическое значение, образец ломается. Падая вниз, рама нажимает на контакт прерывателя *16* и останавливает движение каретки *13*. Испытания повторяются, если при данной нагрузке образец не разрушился, с увеличением груза на каретке.

Механическая прочность исследуемого образца рассчитывается по формуле

$$\sigma_u = \frac{3}{2}\frac{x}{n}\frac{me}{bh^2} + \frac{3}{n}\frac{\gamma l^2}{h},$$

где σ_u — механическая прочность образца, Па; x — расстояние, проходимое кареткой, м; n — расстояние от оси до места закрепления упора, м; m — нагрузка, кг; l — расстояние между опорами, м; b — ширина образца, м; h — высота образца, м; γ — плотность образца, кг/м^3.

За результат принимается арифметическое значение величины механической прочности пяти образцов. Погрешность измерения составляет ±15 %.

Методика определения прочности высушенного образца. Основным методом определения механической прочности на изгиб высушенных образцов является трехточечный (четырехточечный) изгиб, аналогичный методу определения свежезаформованных образцов, который производится на различных приборах: универсальном приборе модели 083М с механическим приводом, модели 084М с пневмогидравлическим приводом [251].

Специальный счетчик, установленный на этих приборах при изгибе исследуемого образца, показывает его механическую прочность.

Более современными приборами являются польский универсальный прибор марки RLV с электрическим приводом, универсальный прибор швейцарской фирмы "Георг Фишер", прибор "Диттер" и др.

Методика определения осыпаемости образцов абразивного инструмента. Осыпаемость сырца характеризует поверхностную прочность высушенных изделий и определяет сохранение формы и размеров изделий, а также необходимое значение припусков при формовании, позволяющих сохранить окончательно предусмотренные размеры готовых изделий. Получение оптимальных значений осыпаемости служит предпосылкой снижения брака и экономии абразивных материалов.

Согласно [252] осыпаемость определяется величиной потери массы поверхностного слоя образца в единицу времени при трении его о стенки сетчатого барабана, вращающегося со скоростью 60 об/мин.

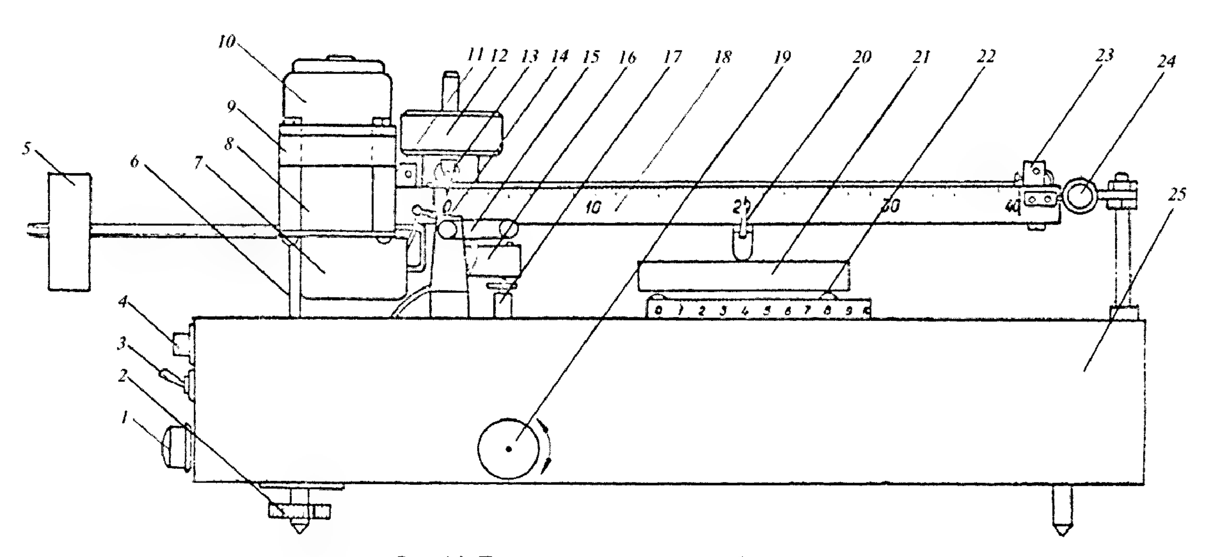


Рис. 4.9. Принципиальная схема прибора:

1 — переключатель; *2* — ножки; *3* — тумблер; *4* — розетка для самописца; *5* — груз; *6* — демпфер; *7* — редуктор с переменным сопротивлением; *8* — механизм перемещения каретки; *9* — редуктор; *10* — электродвигатель; *11* — ограничитель движения; *12* — груз; *13* — каретка со стрелкой; *14* — стойка; *15* — крепежное устройство; *16* — контактный прерыватель; *17* — подпятник; *18* — линейка; *19* — рукоятка перемещения образца; *20* — упор со стрелкой; *21* — образец; *22* — опора с линейкой; *23* — ограничитель движения каретки; *24* — фиксатор рамы; *25* — станина

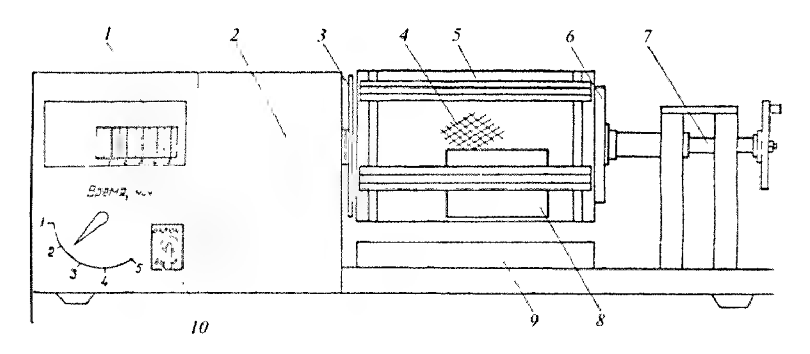


Рис. 4.10. Принципиальная схема прибора
для определения осыпаемости образцов абразивного инструмента:

1 — реле времени с переключателем; *2* — электродвигатель с редуктором; *3* — передний фланец; *4* — металлическая сетка; *5* — барабан; *6* — задний фланец; *7* — механизм перемещения заднего фланца; *8* — испытуемый образец, *9* — поддон; *10* — тумблер включения реле времени и электродвигателя

И.В. Могиленским и А.А. Куровым для определения осыпаемости предложен прибор, принципиальная схема которого представлена на рис. 4.10.

Испытанию подвергается предварительно взвешенный на весах с погрешностью ±10 мг (примерно 0,005 %) образец диаметром d = 0,05 м и высотой h = 0,05 м, высушенный в течение 2 ч при температуре 110±5 °С и прошедший остывание в течение 30 мин в эксикаторе с концентрированной серной кислотой.

Испытуемый образец помещается в сетчатый барабан прибора, на реле времени устанавливается время вращения барабана, равное 1 мин, и включается вращение барабана со скоростью v = 60±5 об/мин. После испытания образец извлекают из барабана и взвешивают. Погрешность измерения продолжительности вращения барабана ±0,5 с.

Осыпаемость исследуемого образца рассчитывается по формуле

$$y = \frac{m_0 - m_1}{m_0} 100\ \%,$$

где y — осыпаемость образца, %; m_0, m_1 — масса образца до и после вращения барабана, кг.

За результат испытания принимается среднее арифметическое значение осыпаемости пяти образцов. Погрешность измерения при доверительной вероятности Р = 0,9 не должно превышать ±15 %.

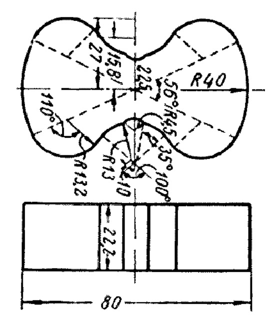


Рис. 4.11. Форма образцов (восьмерка) для определения прочности на разрыв

Методика определения механической прочности обожженых образцов. Для определения механической прочности обожженных образцов на разрыв применяются образцы "восьмерки" (рис. 4.11). Испытания производятся на специальных разрывных

машинах, например, модели УДМ2,5/91 (Германия) при скорости перемещения подвижного состава 10 мм/мин.

Автором [253] разработано приспособление для испытания "восьмерок" на разрыв (рис. 4.12), представляющее собой захваты с направляющими, самоцентрирующимся шарниром, фиксатором и амортизационными прокладками из высокомодульной резины.

Применение амортизационных прокладок позволило повысить среднее значение прочности "восьмерок" на разрыв на 25–30 %.

Прочность на разрыв вычисляется по формуле

$$\sigma_p = \frac{P \cdot 50}{S}, \text{ МПа},$$

где P — разрушающее усилие, кг; S — площадь поперечного сечения (шейки) "восьмерки" до испытания, см^2.

За результат принимается среднеарифметическое значение прочности на разрыв, измеренный на 6–10 образцах.

Погрешность измерения ±10 %.

Для определения механической прочности под действием растягивающих напряжений при трехточечном изгибе применяется испытательная машина типа УИМ-5 с диапазоном измерения 1–500 Н и скоростью движения нагружающего захвата 2–20 мм/мин, у которой нижние подвижные опоры выполняются на сферических шарнирах, позволяющих опорам прилегать к образцу полностью

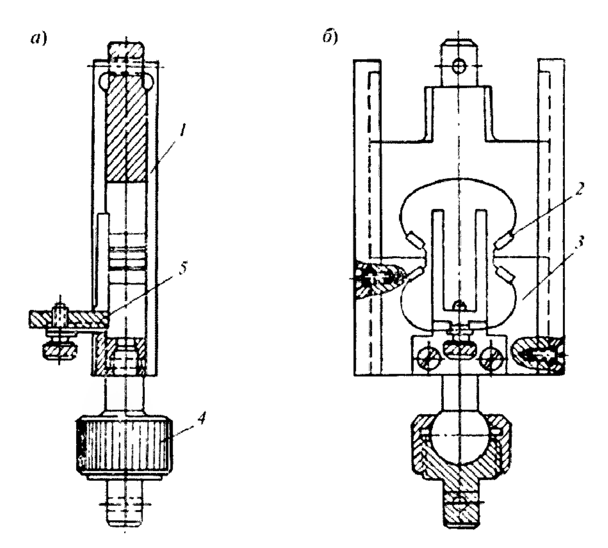


Рис. 4.12. Приспособление для испытания образцов, имеющих форму восьмерок, на разрыв:

1 – направляющие; *2* – амортизационные прокладки; *3* – захваты; *4* – самоцентрирующийся шарнир; *5* – фиксатор

параллельно, чтобы исключить кручение. Измерение нагрузки осуществляется с погрешностью ±1 %. Возможно применение других машин, имеющих аналогичные технические характеристики.

Испытанию подвергают образцы-бруски размером 120 × 20 × 20 мм, замеренные штангенциркулем с погрешностью ±0,05 мм.

Выбирают диапазон силоизмерения испытательной машины, обеспечивающий минимальную для данных образцов цену деления шкалы прибора при скорости нагружения образца, равной 4 мм/мин. Образец помещают на нижние опоры таким образом, чтобы нагружение образца происходило по его середине. Расстояние между нижними опорами 100 мм.

Предел прочности образцов на изгиб рассчитывается по формуле

$$\sigma_u = 0,147\frac{Pl}{bh^2},\ \text{МПа},$$

где P — разрушающая нагрузка, кг; l — расстояние между опорами, см; b, h — ширина и высота образца, см.

За результат испытаний принимается среднее арифметическое значение прочности на пяти образцах. Погрешность измерений механической прочности при доверительной вероятности Р = 0,9 не должна превышать ±5 %.

Методика определения модуля нормальной упругости образцов абразивного инструмента. Под упругостью понимают свойства твердых тел восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия сил. Количественной характеристикой упругих свойств материалов является модуль упругости.

Модуль нормальной упругости абразивного инструмента определяется путем измерения частот собственных колебаний образца [254]. Частота собственных продольных колебаний $f_{пр}$ (кГц) образца измеряется с помощью прибора "Звук 107". По измеренным значениям $f_{пр}$ и длины образца L (мм) определяется значение C_l (м/с), имеющее физический смысл скорости распространения упругих колебаний в бесконечно длинном стержне, изготовленном из того же материала, что и образец:

$$C_l = 24 \cdot f_{пр}. \tag{4.1}$$

Плотность образцов ρ (кг/м^3) определяется исходя из массы образца P (кг) и его объема V, рассчитанного по геометрическим размерам:

$$\rho = P/V. \tag{4.2}$$

По полученным значениям C_l и ρ производится расчет модуля нормальной упругости E (Па):

$$E = \rho C_l^2. \tag{4.3}$$

Испытанию подвергаются образцы брусков размером 120 × 20 × 20 мм, замеренные штангенциркулем с погрешностью ±0,05 мм и взвешенные на весах с точностью ±0,1 г.

Непосредственно измерение ведут следующим образом. Измеряемый брусок закрепляют в измерительной стойке прибора с минимальным прижатием. Вращая ручку прибора "ЧАСТОТА" от начала рабочего диапазона частот 12,5 кГц в сторону увеличения частоты, находят максимальный по амплитуде

резонанс в рабочем диапазоне частот по максимальному сближению или перекрытию светящихся полос глазка индикатора и производят отсчет измеренной частоты по цифровому табло частотомера Ч3-32. За результат испытаний принимается значение единичного измерения, по которому рассчитываются C_l, ρ и E по формулам (4.1–4.3). Погрешность определения таким методом модуля Юнга E не превышает 2,2 %.

Переключатель поддиапазонов устанавливается в положение, при котором соответствующий поддиапазон прибора включает в себя рабочий диапазон частот образца. Для брусков L = 120 мм рабочий диапазон частот 12,5–25,8 кГц. При этом начальное положение переключателя поддиапазонов — *А* (f = 12,5–19,5 кГц), затем *Б* (f = 12,5–19,5 кГц) устанавливается ручка "ВЫХОД" в среднее положение, и измерение ведут следующим образом: измеряемый брусок закрепляют в измерительной стойке прибора с минимальным прижатием.

Вращая ручку прибора "ЧАСТОТА" от начала рабочего диапазона частот 12,5 кГц в сторону увеличения частоты, находят максимальный по амплитуде резонанс в рабочем диапазоне частот по максимальному сближению или перекрытию светящихся полос глазка индикатора и производят отсчет измеренной частоты по цифровому табло частотомера Ч3-32.

За результат испытаний принимается значение единичного измерения, по которому рассчитываются значения C_l, ρ и E по формулам (4.1–4.3).

Погрешность определения таким методом модуля Юнга E не превышает 2,2 %.

Методика определения коэффициента теплопроводности образцов абразивного инструмента. Коэффициент теплопроводности образцов абразивного инструмента определяется методом стационарного нагрева полого цилиндра в интервале температур 100–900 °С.

Испытание проводят на установке определения теплопроводности (рис. 4.13), нагревательным элементом в которой является спираль из "сплава 12", намотанная на фарфоровую трубку *2*.

От рабочей части нагревателя сделан отвод для замера мощности ваттметром со шкалой 5А–30V, что соответствует цене деления 0,2 Вт.

Питание нагревательного элемента осуществляется от сети переменного тока через стабилизатор и трансформатор.

Испытанию подвергаются цилиндрические образцы высотой 60 мм, наружным и внутренним диаметрами 60 и 20 мм, заформованные из абразивной смеси, используемой для изготовления абразивного круга. В них монтируются (вставляются) термопары типа ХА и ХК (диаметром 0,2 мм в кварцевой оплетке), которые прикрепляются составом из жидкого стекла с глиной к центру канавки внутренней части образца (первой термопары) и к центру канавки наружной части образца (второй термопары).

От центра канавки в средней части образца по пазу, расположенному на наружной поверхности образца параллельно образующей цилиндра диаметром 20 мм, выводятся наружу положительные электроды термопар, аналогично по пазу, расположенному на наружной поверхности образца, выводятся отрицательные электроды термопар; после высыхания замазки производится установка образцов в гнезда.

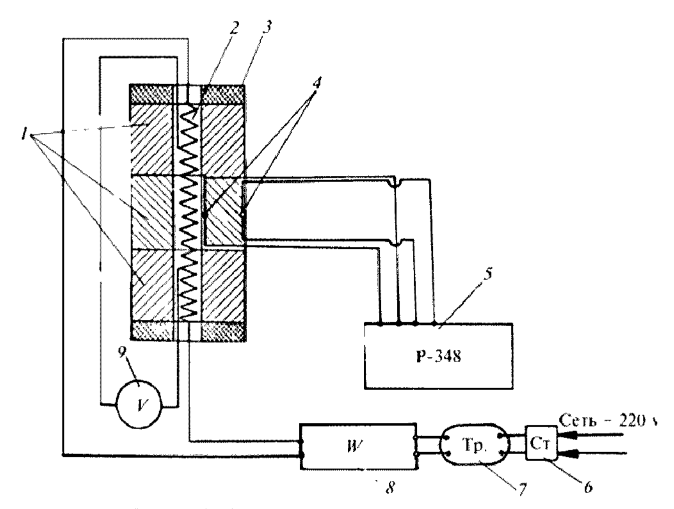


Рис. 4.13. Схема установки для определения коэффициента теплопроводности образцов абразивного инструмента:

1 — исследуемый образец; *2* — нагревательный элемент; *3* — охранное кольцо; *4* — электроды термопары; *5* — потенциометр постоянного тока; *6* — стабилизатор типа С-05; *7* — трансформатор однофазный типа РНО 250-5, *8* — ваттметр Д529, класс 01; *9* — вольтметр

На нагревательный элемент надевается комплект, состоящий из двух охранных колец *3* из пенобетона БЛ-04, двух балластных образцов с испытываемым образцом *1* посередине. Зазоры между образцами и швами соединений засыпаются порошком прокаленного глинозема. Горизонтальные и вертикальные швы промазываются смесью глины и абразивного зерна № 8–12.

После окончания подготовительных работ включаются все измерительные приборы, а также нагреватель на минимально необходимую мощность (10 Вт), обеспечивающую температуру на горячей стороне образца порядка 100 °С.

По истечении 2 ч производится замер мощности по ваттметру. Замеряется нулевое положение выходного прибора АК моста Р348 и производится подстройка питания Б1 и Б2 в соответствии с инструкцией, имеющейся в паспорте прибора. Затем производится замер ЭДС по верхнему и нижнему рядам декадных переключателей при положительной и отрицательной полярности. Результаты фиксируются. После окончания замера при помощи РНО 250-5 (см. рис. 4.13, *7*) устанавливается следующая ступень мощности, соответствующая необходимой температуре испытаний, и через 1 ч вновь производятся замеры, как описано выше. Замеры производятся до достижения температуры 900 °С. Показания потенциометра переводятся по интерполяционным таблицам в градусах Цельсия с точностью до 0,01 °С.

Коэффициент теплопроводности образцов абразивного инструмента рассчитывается по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{\ln\frac{r_1}{r_2}}{2\pi L}\frac{W}{T_2 - T_1},\ \text{Вт/(м·град)},$$

где L — длина рабочего участка нагревателя, м; r_1, r_2 — наружный и внутренний радиусы образца, мм; $T_2 - T_1$ — разность температур между горячей и холодной поверхностями образца, °С; W — мощность на рабочем участке нагревателя, Вт.

За результаты испытаний принимается среднее арифметическое значение коэффициента теплопроводности трех образцов. Погрешность измерения при доверительной вероятности Р = 0,8 не должна превышать ±10 %.

Методика определения газопроницаемости образцов абразивного инструмента. Свойство абразивных керамических инструментов пропускать сквозь свой объем воздух называется газопроницаемостью. Газопроницаемость характеризуется коэффициентом газопроницаемости *K*, который численно равен расходу воздуха, проходящего в единицу времени через единицу площади керамического инструмента при перепаде давления на единицу толщины материала.

Определение газопроницаемости образцов абразивного инструмента производится на установке, принципиальная схема которой изображена на рис. 4.14 (разработана А.Н. Лукницким).

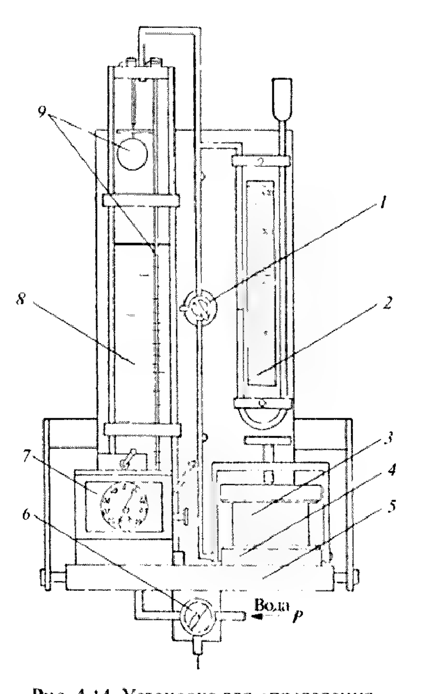


Рис. 4.14. Установка для определения коэффициента газопроницаемости образцов абразивного инструмента:

1 — трехходовой воздушный клапан; *2* — водяной манометр; *3* — образец; *4* — узел крепления образца; *5* — штатив; *6* — трехходовой водяной кран; *7* — электросекундомер, *8* — стеклянный сосуд; *9* — механизм контроля скорости движения границы жидкости

На этой установке при определении газопроницаемости *K* измеряются: размеры образца, расход воздуха, проходящего сквозь него, и перепад давления на образце (должен быть не менее 10 мм вод. ст.). Испытанию подвергается цилиндрический образец высотой 30 мм, наружным и внутренним диаметрами 60 и 20 мм. После определения размеров образца он высушивается при температуре 110±5 °С и помещается для остывания в эксикатор на 30 мин. Далее образец вставляют в узел крепления *4* установки (см. рис. 4.14) и герметически уплотняют. Открывают кран *1*, обеспечивая свободное прохождение воздуха из сосуда *8* к поверхности образца *3*. Поворотом крана *6* в сосуд *8* подают из крана воду, из которого она начинает

вытеснять воздух и гнать его с определенной скоростью сквозь образец. При прохождении нижней границы, отмеченной на сосуде *8*, с помощью механизма контроля *9* включают электросекундомер *7*, а при достижении верхней границы выключают, фиксируя время прохождения объема воздуха, равного 2300 см^3, сквозь образец. За время подъема воды (10—30 с) в сосуде *8* записывают перепад давления на образце, фиксируемый водяным манометром *2*.

Длительность проведения испытания при определении коэффициента газопроницаемости керамического образца составляет 1,5—2 мин. Данный пример позволяет измерять коэффициенты газопроницаемости образцов, изменяющиеся в широких пределах.

Газопроницаемость исследуемого образца рассчитывается по формуле

$$K = 18{,}4 \cdot 10^{-2} \frac{Q}{2\pi H \Delta p} = 2{,}3 \lg \frac{d_1}{d_2}, \quad \text{м}^2,$$

где H — высота образца, м; d_1 — наружный диаметр образца, м; d_2 — внутренний диаметр образца, м; Q — расход воздуха, м^3/с; Δp — перепад давления на образце, Па; $18{,}4 \cdot 10^{-2}$ — коэффициент, учитывающий вязкость воздуха при температуре 20 °С, Н·с/м^2.

За результат испытания принимается среднее арифметическое значение газопроницаемости пяти образцов. Погрешность измерений газопроницаемости при доверительной вероятности Р = 0,9 не должна превышать ±10 %.

При измерении газопроницаемости образца необходимо вовремя открывать кран *6* и закрывать водопроводный кран, исключая тем самым возможность заполнения воздушной системы водой и вывода прибора из строя.

Методика измерения пористости образцов абразивного инструмента. Характеристикой пористости образцов абразивного инструмента является отношение объема, занимаемого порами, к общему объему данного образца, выраженное в процентах.

Для определения пористости образцов абразивного инструмента используется установка, принципиальная схема которой изображена на рис. 4.15. Исследуемый образец помещается в предварительно тарированный объем. В системе установки создается определенное давление воздуха. По потере значения давления и по тарированной кривой (см. рис. 4.16) определяется содержание твердой фазы в образце. Объем пор определяется как разность между общим объемом образца и объемом, занимаемым твердой фазой.

Испытанию подвергается образец размером 120 × 20 × 20 мм, высушенный при температуре 105—110 °С и помещенный для остывания на 30 мин в эксикатор с концентрированной серной кислотой. Затем образец помещается в металлическую форму *2* прибора (см. рис. 4.15) и нажатием груши *14* производится подача воздуха в сосуд *9* до достижения давления в нем 700 мм вод. ст., фиксируемого манометром *8*. По шкале *6* прибора определяется установившееся давление p_1 в системе установки, фиксируемое манометром *8*. По результирующему давлению, используя тарировочную кривую (рис. 4.16), находится объем V_x, занимаемый твердой фазой образца.

Запрещается подавать в объем установки воздух давлением свыше 750 мм вод. ст. в целях устранения выброса воды из манометра *8*.

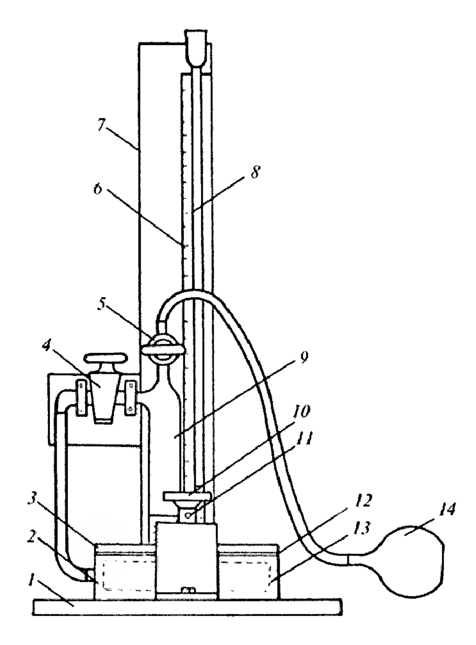


Рис. 4.15. Общий вид прибора для измерения пористости абразивного инструмента:

1 — штатив; *2* — металлическая форма; *3* — крышка; *4* — кран подачи воздуха в систему; *5* — кран перепуска воздуха; *6* — шкала; *7* — рейка; *8* — водяной манометр; *9* — цилиндрический мерный сосуд; *10* — винтовой зажим; *11* — указательная стрелка; *12* — резиновая прокладка; *13* — исследуемый образец; *14* — груша для подачи воздуха в систему

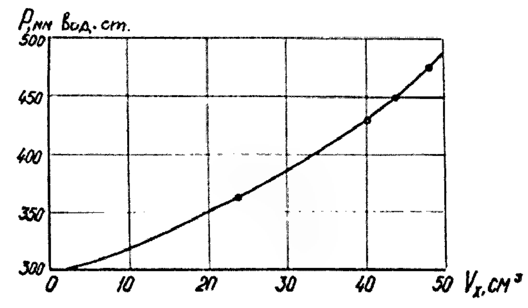


Рис. 4.16. Тарировочная кривая для определения твердой фазы в образце

Пористость исследуемого образца рассчитывается по формуле

$$\varphi = \frac{V_0 - V_\text{x}}{V_0} 100, \%,$$

где φ — пористость образца, %; $V_0 = bhl$ — объем образца, мм^3 (b — ширина образца, мм, h — высота образца, мм, l — длина образца, мм); V_x — объем твердой фазы образца, мм^3.

За результат принимается среднее арифметическое значение пористости, измеренной на пяти образцах. Погрешность измерений при доверительной вероятности Р = 0,9 не должна превышать ±1,2 %.

Методика определения объемного веса и структуры готового изделия. Для определения объемного веса готового изделия вычисляют объем круга по формуле $V = 0{,}785(D^2 - d^2)h$, где D — диаметр круга; d — диаметр отверстия; h — высота круга, см. Затем взвешивают круг и полученную массу круга делят на объем, определяя таким образом объемный вес круга: $\gamma = P/V$, г/см^3, где γ — объемный вес готового изделия.

Полученное значение сравнивают с объемным весом, указанным в рецептуре, по которой изготовлялся круг. При получении объемного веса, соответствующего рецептурному значению, можно считать, что структура круга также соответствует заданной рецептуре.

Методика изготовления аншлифа из абразивного инструмента [255]. Из поступившего на анализ абразивного инструмента алмазным шлифкругом вырезают образец объемом примерно 1 см^3, тщательно промывают его щеткой для удаления из пор отходов шлифования, высушивают и с помощью быстротвердеющей пластмассы (стиракрила, бутакрила, акрилата и др.) заформовывают в специальную разъемную стальную форму (рис. 4.17). На дно основания формы укладывают целлофановую прокладку, на нее ставят приготовленный для исследования образец и заливают пластмассой; по истечении 10–15 мин, необходимых для начала процесса полимеризации, смесь покрывают целлофановой прокладкой, в центральную часть формы вставляют пуансон и всю форму помещают в пресс любой конструкции, позволяющий постепенно увеличивать давление прессования. Для удаления из смеси пузырьков воздуха в течение следующих десяти минут производят две-три подпрессовки, после чего всю форму погружают в горячую воду и кипятят 20–30 мин. После охлаждения извлекают из нее образец, который представляет собой цилиндр диаметром 10–12 мм и высотой примерно 20 мм. Метод имеет значительную погрешность и применяется только на заводах-изготовителях инструмента.

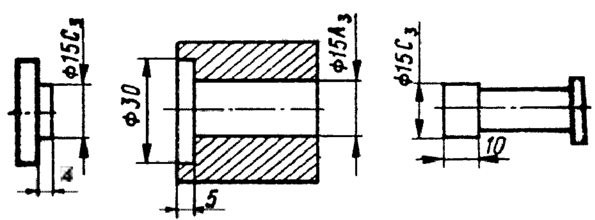


Рис. 4.17. Разъемная форма для получения заготовки аншлифа

Шлифование и полирование поверхности аншлифов осуществляют на шлифовальном станке любой конструкции со скоростью вращения шпинделя 8000 об/мин и в качестве шлифовальных материалов используют комплект алмазных планшайб (изготовленных на металлической связке М1 100 %-ной концентрации, зернистостью алмазного порошка 20, 10 и 5 мкм или 14,7 и 3 мкм) и алмазные пасты.

Состояние поверхности аншлифа после первых двух операций контролируют под бинокулярным стереоскопическим микроскопом при малом увеличении, а после следующих операций — при помощи металлографического микроскопа. На поверхности хорошо изготовленного аншлифа должны отсутствовать крупные глубокие выбоины и царапины, а также должна быть видна четкая граница между зерном и связкой.

Методика проведения анализа микроструктуры абразивного инструмента*. Анализ структуры абразивного инструмента, т. е. количественного определения объемного содержания зерна, связки и структурных пор, осуществляется в аншлифах, приготовленных из абразивного инструмента линейным методом с помощью микроскопов и интеграционных устройств. Сущность линейного метода состоит в том, что в плоском сечении аншлифа измеряют длину отрезков, приходящихся на каждую составляющую микроструктуру образцов в отдельности (зерно, связка, структурные поры). Приняв за 100 % суммарную длину линий, вычисляют процентное содержание каждой составляющей абразивного инструмента. Площадь образца должна быть не менее 100 мм, что обеспечивает погрешность до 1 % при среднем размере зерна ≤ 1 мм. Поскольку абразивный инструмент из-за высокой пористости часто неоднороден по структуре по всему объему, для достоверности результатов необходимо просчитывать по четыре аншлифа общей площадью не менее 400 мм^2.

Для проведения измерений используются поляризационные микроскопы модели "МИН-9" и "Полам-Р-312", имеющие полезное увеличение от ×15 до ×1000. Рабочее увеличение ×100 обеспечивается сочетанием объектива 20 × 0,40 и окуляра ×5. Площадь образца должна быть не менее 100 мм, что обеспечивает погрешность до 1 % при среднем размере зерна ≤ 1 мм.

Среднюю часть предметного столика микроскопа вынимают и специальными винтами прикрепляют к нему интеграционный столик Андина (ИСА) таким образом, чтобы барабанчики были справа, маховичок для свободного перемещения — слева. Интеграционный столик имеет шесть отсчетных барабанчиков: первые три суммируют по 20 мм, следующие три — по 10 мм с погрешностью отсчета ±0,01 мм. Перемещение салазок составляет 20 мм с погрешностью отсчета ±0,1 мм.

Интеграционный столик ИСА устанавливают в нулевое положение. В салазки ИСА устанавливают аншлиф и поворотом столика микроскопа ставят аншлиф так, чтобы его край установился параллельно горизонтальной нити, а его левый угол был в центре креста нитей. Вращением от себя соответствующего барабанчика (в зависимости от того, какая составляющая стоит на кресте нитей) производят перемещение аншлифа до тех пор, пока на кресте нитей не окажется другая составляющая микроструктуры абразивного инструмента. Тогда начинают вращать барабанчик, соответствующий этой составляющей. Так просчитывают всю первую горизонтальную линию.

---

* Методика разработана Л.И. Мишиной.

Маховичком для свободного перемещения ставят аншлиф в исходное (первоначальное) положение таким образом, чтобы с вертикальной нитью совпал левый край шлифа. Винтом салазок перемещают аншлиф в вертикальном направлении на среднюю величину зерна.

Аналогично подсчетам по первой горизонтальной линии суммируют длины отрезков для всех составляющих по следующим горизонтальным направлениям, перемещая каждый раз по вертикали на среднюю величину зерна и возвращая маховиком в исходное положение.

Когда максимальная длина отрезков для барабанчиков будет пройдена, нужно записать соответствующие отсчеты и возвратить барабанчики в исходное положение. Иногда при работе приходится возвращать в нулевое положение один или два барабанчика. Полученные суммарные длины линий записываются в таблицу. Содержание каждой структурной составляющей в процентах рассчитывается по формуле

$$A = S/S_к \cdot 100\,\%,$$

где S — суммарная длина линий, приходящаяся на данную составляющую структуры, мм; $S_к$ — общая суммарная длина линий, мм.

За результаты измерения принимается среднее арифметическое значение семи измерений каждой составляющей одного образца.

Погрешность измерения при доверительной вероятности Р = 0,8 не превышает ±1 %.

Глава 5

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

5.1. Абразивный инструмент для высокоскоростного шлифования

В мировой практике абразивной обработки одним из важнейших мероприятий, направленных на повышение производительности процесса и качества обрабатываемых поверхностей, является периодическое повышение рабочих скоростей абразивных инструментов. В отечественной практике, как и в большинстве других стран, увеличение скорости шлифования осуществлялось в несколько этапов: с 25 до 35 м/с (1935–1950 гг.), с 35 до 50 м/с (1950–1960 гг.) и с 50 до 60–80 м/с (1970–1980 гг.) и затем до 100–125 м/с.

Задачи перехода на повышенные скорости шлифования были сопряжены с целым рядом трудностей и с необходимостью решения сложнейших технических проблем: проектирование и создание высокоскоростных шлифовальных станков и абразивных высокоскоростных инструментов, обладающих достаточным запасом прочности, высокой стойкостью и производительностью, а также создание парка испытательных станков-стендов для определения механической прочности кругов; решение вопросов, связанных с созданием защитных устройств шлифовальных станков. Все это до настоящего времени является сдерживающим фактором при внедрении скоростного шлифования [256, 257].

Основные сведения о прочности шлифовального инструмента. При работе шлифовального круга на него действуют центробежные силы, сила закрепления фланцами на шпинделе станка, силы резания и силы, возникающие от неуравновешенности масс.

При теоретических исследованиях прочности шлифовального круга, состоящего из шлифовального зерна, связки и пор, материал круга принято считать изотропным и гомогенным. Для абразивных кругов на керамических связках зависимость между напряжением и деформациями линейна вплоть до их разрушения [256].

При вращении круга вокруг центральной оси возникают радиальные напряжения σ_r, действующие вдоль радиуса, и тангенциальные напряжения σ_t, действующие в окружном направлении (рис. 5.1) [258].

Для круга, имеющего форму кольца, напряжения определяются по следующим зависимостям:

$$\sigma_r = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{8g}\left(r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_1^2 r_2^2}{\rho^2} - \rho^2\right); \quad (5.1)$$

$$\sigma_t = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{8g}\left[r_2^2 + r_1^2 + \frac{r_1^2 r_2^2}{\rho^2} - \frac{(1+3\mu)\rho^2}{3+\mu}\right]. \quad (5.2)$$

Наибольшие напряжения возникают на внутренней поверхности отверстия круга (при $\rho = r_1$), и их можно определить по формуле

$$\sigma_{t\,max} = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{4g}\left(1 + \frac{1-\mu}{3+\mu}\alpha^2\right), \quad (5.3)$$

где μ — коэффициент поперечного сжатия материала круга (коэффициент Пуассона), равный для кругов на керамической связке 0,2–0,3; g — ускорение свободного падения, м/с^2; ω — частота вращения круга, с$^{-1}$; γ — плотность

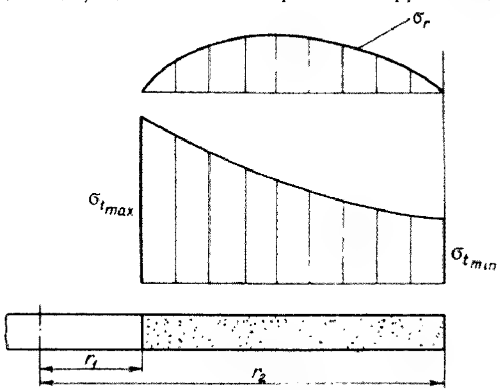


Рис. 5.1. Радиальные и тангенциальные напряжения, возникающие вокруг центральной части круга при вращении

круга, МПа/м^3; α — отношение диаметра отверстия к диаметру круга, $\alpha = r_1/r_2$; ρ — текущий радиус, м.

Решение этого уравнения для различных граничных условий показывает, что максимальные тангенциальные напряжения значительно больше максимальных радиальных, поэтому разрушение круга начинается с отверстия.

Разрушение круга происходит при достижении напряжения, равного пределу прочности круга на разрыв $\sigma_р$. Следовательно, минимальная необходимая прочность материала круга должна быть не меньше максимальных тангенциальных напряжений, возникающих на поверхности отверстия круга при достаточном запасе прочности, обеспечивающем безопасные условия при эксплуатации.

В России в соответствии с ГОСТ 12.3.028–82 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52588–2006) круги перед работой должны быть испытаны с полуторным запасом прочности от их рабочей скорости, т. е. $V_{исп} = 1{,}5\,V_{раб}$. Для исключения возможности разрыва при испытательной скорости в процессе разработки технологии производства кругов установлен дополнительный экспериментальный запас прочности 30 %, т. е. $1{,}71\,V_{раб}$ ($V_{разр} = \sqrt{1{,}3V_{исп}}$). При этом коэффициент запаса прочности равен 3 (квадрат отношения скорости, при которой круг разрывается, к рабочей скорости $\left(\dfrac{V_{разр}}{V_{раб}}\right)^2$.

В табл. 5.1 приведены рассчитанные по уравнению (5.3) максимальные тангенциальные напряжения в кругах диаметром 500 мм и диаметром отверстия 305 мм при скоростях круга от 35 до 120 м/с, при испытательной скорости, превышающей рабочую в 1,5 раза в соответствии с ГОСТ 12.3.028–82, и разрывной скорости, равной запасу прочности.

В табл. 5.2 представлены данные о прочности образцов и кругов на различных керамических связках.

Анализ прочности образцов и кругов из различных шлифматериалов: белого, хромистого, хромтитанистого нормального электрокорундов, монокорунда на различных керамических связках — показал, что инструменты из электрокорундовых материалов зернистостью 40–25 на связках марок К5 и К6 пригодны для шлифования со скоростью 50 м/с, а инструменты зернистостью

Таблица 5.1

Максимальные тангенциальные напряжения в кругах с наружным диаметром 500 мм и диаметром отверстия 305 мм в зависимости от скорости шлифования

$\sigma_{t_{разр}}$, МПа	$V_{раб}$, м/с	$V_{исп} = 1{,}5\,V_{раб}$	$V_{разр} = 1{,}71\,V_{исп}$	$\sigma_{t_{разр}}$, МПа	$\sigma_{t_{исп}}$, МПа
6,1/8	35	52,5	60	2,1/2,7	4,7/6,2
12,3/16,2	50	75	85,5	4,2/5,6	9,5/12,5
17,8/23,4	60	90	102,5	6,1/8	13,5/18,1
31,2/41,0	80	120	137	10,7/14,1	24,1/31,7
49,5/65,0	100	150	171	17,0/22,4	38,2/50,0
71,5/94,0	120	180	205	24,5/32,3	55,0/72,0

Таблица 5.2

Механическая прочность образцов и кругов на различных керамических связках

Марка и зернистость абразивного материала	Марка связки	Твердость	Предел прочности, МПа		Скорость круга, м/с	
			на изгиб ($\sigma_{изг}$)	на разрыв ($\sigma_{разр}$)	разрывная ($V_{разр}$)	рабочая (расчетная) ($V_{раб}$)
1 250 × 20 × 75						
24А 40	К5 К6 К43	С1 СМ2 С1	28,0 24,0 40,0	16,1 13,7 26,2	95 88 120	50 50 60
24А 25	К5 К6 К43	С1 СМ2 С1	35,3 33,5 43,0	20,0 19,0 28,2	110 110 137	60 60 80
33А 40	К5 К6 К43	С2 С1 С2	27,5 29,0 34,0	14,5 16,1 21,5	90 95 110	50 50 60
33А 25	К5 К6 К43	С1 С1 С1	35,0 35,4 43,3	20,0 21,2 27,8	113 117 136	60 60 80
91А 40	К5 К6 К43 К153	С1 С1 С1 М3–С2	26,5 32,0 38,0 –	14,5 15,4 25,0 –	90 93 118 115–120	50 50 60 60
91А 25	К5 К6 К43 К153	С1 С1 С1 М3–С2	32,7 30,6 41,7 50,0	21,2 20,0 27,0 28,0	115 114 136 120–138	60 60 80 60–80
91А 16	К153	М3–С2	45,0	28,0	125–137	60–80
44А 40	К5 К6 К43	С1 СМ2 С1	29,2 25,2 34,5	14,5 12,8 23,0	90 85 114	50 50 60
44А 25	К5 К6 К43	С1 С1 С2	36,3 29,6 41,2	19,8 14,5 25,2	117 109 125	60 60 60–65
14А 40	К5 К6 К43	С2 С1 С2	24,0 23,5 27,0	15,4 14,5 16,1	93 90 95	50 50 50
14А 25	К5 К6 К43	С2 С1 С2	28,5 24,1 33,1	18,0 16,5 20,0	111 102 108	60 60 60
1 300 × 40 × 127						
63С 25	К3 К10	СМ2 СМ2	22,5 28,5	13,5 18,0	90 104	50 60
63С 40	К3 К10 К3 К10	М3 М3 СМ2 СМ2	13,0 15,1 19,3 20,5	6,9 8,3 10,7 12,2	66 71 80 86	35 40 45 50
63С 16	К3 К10 К3 К10	М3 М3 С2 С2	21,3 34,0 35,0 42,0	13,0 22,0 17,0 26,0	90 120 100 128	50 60 60 60

16 — для работы со скоростью 60 м/с, на связках марок К43, К43Л, К153 — для работы со скоростью 60–80 м/с. Инструменты из карбида кремния зернистостью 40–16 на связке К3 могут быть применимы в основном для работы со скоростью 35–45 м/с, на связке К10 — с 50–60 м/с.

К кругам для высокоскоростного шлифования предъявляются более жесткие требования в отношении погрешности формы и размеров, неуравновешенности, равномерности твердости, а именно они должны быть изготовлены по классу А (ГОСТ 2424–85) или соответствовать специальным техническим условиям с неуравновешенностью не ниже второго класса для кругов, работающих со скоростью 60 м/с, и не ниже первого класса для кругов, работающих со скоростью 80 м/с и выше. Поскольку напряжение во вращающемся круге пропорционально квадрату скорости, то, чтобы поднять рабочую скорость с 60 до 100 м/с, необходимо повысить предел прочности абразивной смеси с 17,8–25,3 до 49,5–70,5 МПа, т. е. в 2,78 раза. Однако возможность повышения прочности абразивной композиции за счет совершенствования связок ограничена. Исходя из этого наиболее эффективным способом увеличения прочности круга является изменение его конструкции.

Методика проектирования абразивного инструмента для высокоскоростного шлифования. ВНИИАШем совместно с Тольяттинским политехническим институтом на основании выполненных работ [259–264] и опыта изготовления кругов разработана специальная методика проектирования шлифовальных кругов для скоростного шлифования трех типов: двухслойные круги, которые формуются из двух абразивных масс с различными характеристиками (тип I); круги, у которых внешняя абразивная режущая часть надежно соединена с несущей частью из другого материала (тип II); круги, по торцевым поверхностям которых присоединены диски из прочного материала (тип III).

Методика проектирования целесообразных схем составных кругов для скоростного и высокоскоростного шлифования представлена алгоритмом (рис. 5.2), который показывает общий план проектирования шлифовальных кругов заданной прочности, а также номограммами (рис. 5.3–5.5). Последние изображают функцию коэффициента повышения скорости β для определенного типа конструкций в зависимости от свойств материала упрочняющих элементов (*T* и *I*), а также включают шкалу коэффициента упрочнения n_y, который показывает, во сколько раз больше должна быть прочность несущей части, чтобы обеспечивался найденный по номограмме коэффициент повышения скорости.

Первые три этапа решения задачи являются подготовительными и поэтому общими для всех конструкций кругов. При этом устанавливаются характеристика, размеры, рабочая скорость проектируемого круга $v_{кр}$, определяются плотность j, модуль упругости E его материала, а также механические характеристики (предел прочности при изгибе $\sigma_{и\,з}$ и разрывная скорость $v_р$ круга заданной характеристики). Определяется необходимый коэффициент повышения скорости круга β_v как произведение отношения рабочей скорости, умноженной на требуемый коэффициент запаса n, к разрывной $\left(\beta_v = \dfrac{V_к n}{V_р}\right)$.

На четвертом этапе в зависимости от коэффициента β_v проводится выбор конструкции круга. Если $\beta_v \le 1{,}0$, скоростной круг обеспечивает безопасную работу при заданной рабочей скорости и упрочнение не требуется. При

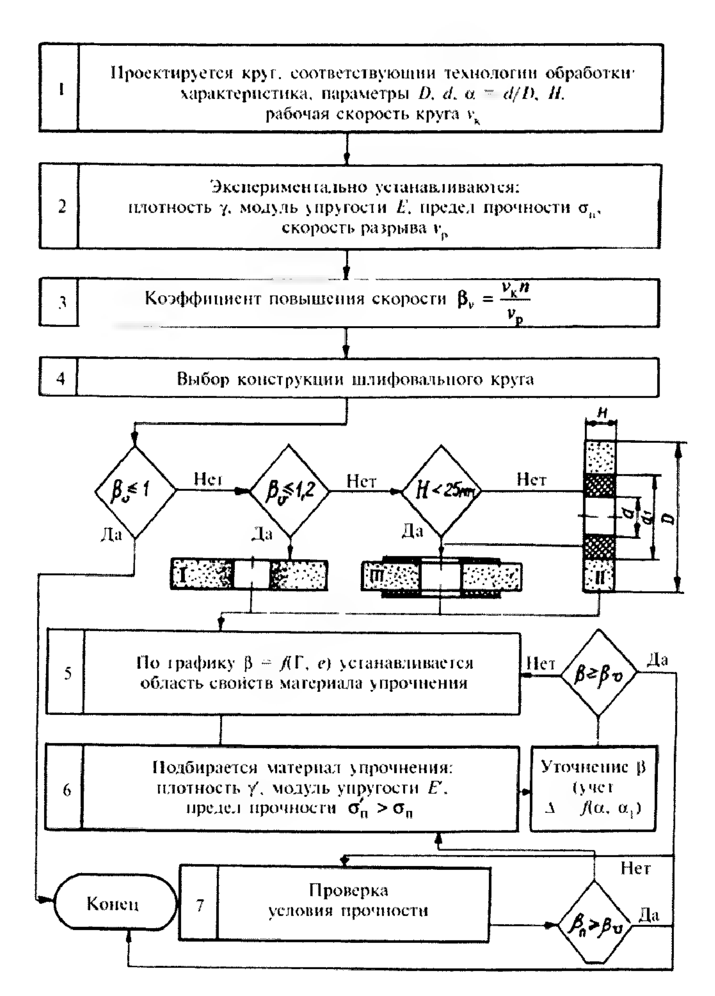


Рис. 5.2. Алгоритм проектирования безопасных скоростных кругов

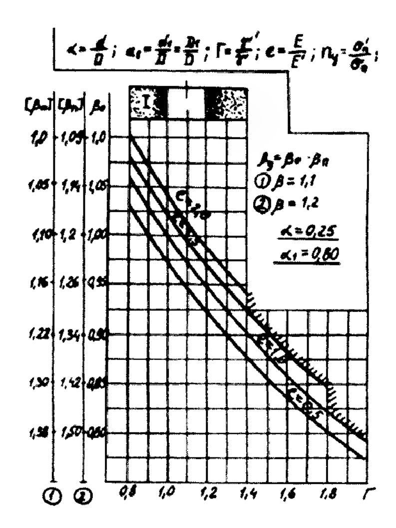


Рис. 5.3. Номограмма для определения коэффициента повышения скорости $\beta_в$ (тип круга 1):
E — модуль упругости; γ — плотность; H — высота формовочного круга; h — толщина диска; γ', E' и т. д. — величины, характеризующие свойства и параметры несущей части круга; α, α', Г, e — безразмерные параметры

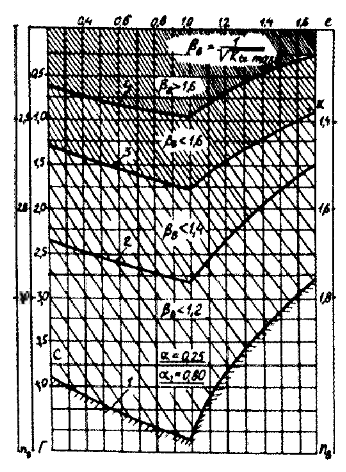


Рис. 5.4. Номограмма для определения коэффициента повышения скорости β_0 (тип круга 2)

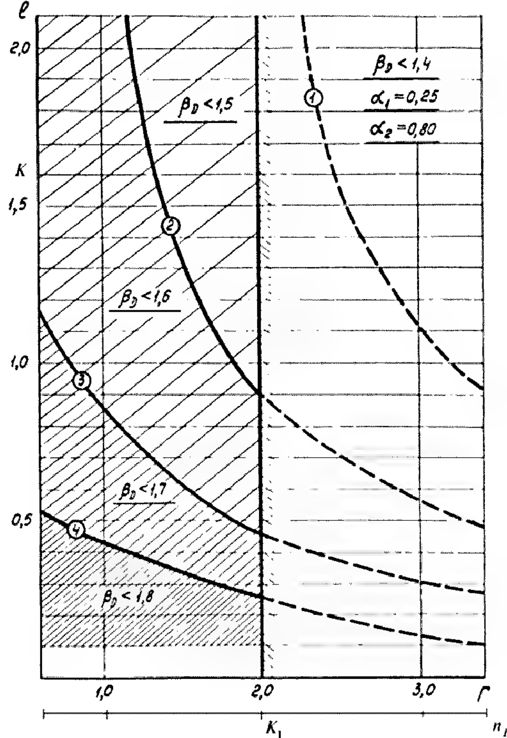


Рис. 5.5. Номограмма для определения коэффициента повышения скорости $\beta_д$

необходимости увеличения рабочей скорости не более чем на 20 % рекомендуется способ упрочнения круга путем формования его из двух абразивных смесей: для несущей и режущей частей круга (способ 1). На примере этой конструкции проследим дальнейший ход проектирования круга.

На пятом и шестом этапах проектирования по номограмме, показанной на рис. 5.3, подбирается достаточно прочный материал несущей части круга. Далее определяются плотность j_1, модуль упругости E_1 и разрывная скорость круга $v_р^1$ из материала подобранной характеристики или предел прочности при изгибе $\varepsilon'_{из}$ образца; вычисляется отношение модулей упругости $l = \dfrac{E}{E_1}$, плотностей $Г = \dfrac{j_1}{j}$ и разрывных скоростей, конструктивно принимаются размеры режущей части круга (параметр $\alpha_1 = \dfrac{d_1}{D}$).

В соответствии со значениями l и Г по номограмме (см. рис. 5.3) находят точку, ординатой которой является величина β_0, т. е. поправка на β_v при отклонении величин α и α_1 от принятых за оптимальные ($\alpha = 0,25$; $\alpha_1 = 0,8$) для кругов второй и третьей конструкций. Для кругов первого типа конструкции поправку β_0 можно не учитывать ввиду ее малого значения.

По шкале 1 для β_v не более 1,1 или по шкале 2 для $\beta_v \leq 1,2$ определяют значение β_n на уровне β_0. Проверка условия прочности считается выполненной, если коэффициент β_n равен или больше β_v. Следовательно, упрочнение круга способом 1, т. е. формование круга из двух абразивных масс, эффективно.

Для повышения рабочей скорости более 20 % рекомендуются составные круги со втулкой из легкого материала (тип круга II), прочность которого выше прочности режущей части в два-три раза. При применении такого круга можно увеличить скорость на 60 % по сравнению с кругом неупрочненной конструкции. При проектировании круга конструкции типа II необходимо учитывать уровень наибольших напряжений в месте соединения двух частей круга. Условие проектирования таких кругов реализуется при соотношении

$$\beta_в = \frac{1}{\sqrt{K_{k\,max}}} \geq \beta_v,$$

где знак "в" при β обозначает упрочнение круга втулкой; $K_{tc\,max}$ — коэффициент изменения тангенциальных напряжений в опасном сечении, со стороны режущей части круга.

Номограмма для определения коэффициента повышения скорости $\beta_в$ в зависимости от $K_{tc\,max}$, отношение Г плотности втулки и плотности режущей части круга и отношение l — модуля упругости режущей части к модулю упругости втулки представлена на рис. 5.4. Выделены области, соответствующие различным уровням упрочнения, равным повышению рабочих скоростей от 20 до 60 %.

Коэффициент $n_в$ показывает, во сколько раз прочность втулки должна быть больше прочности шлифовального круга.

Порядок проектирования круга с втулкой аналогичен проектированию круга конструкции первого типа. Используются номограммы (см. рис. 5.4) и учитывается значение поправки Δ к коэффициенту $\beta_в$ при отклонении параметров составного круга от параметров круга, принятого за оптимальный. Рекомендации по проектированию и значения поправки Δ представлены ранее в работе [260].

Способ проектирования круга с втулкой является наиболее универсальным и может быть использован при упрочнении кругов любой высоты; втулку можно использовать вторично, и шлифовальный круг может быть изготовлен с большим отверстием. Однако следует заметить, что решение, представленное номограммами (см. рис. 5.3 и 5.4) и таблицами, получено из условия создания уровня напряжений в клеевом соединении, не превышающего прочности клея.

Для шлифовальных кругов высотой не более 25 мм рекомендуется упрочнение торцевыми дисками, изготовленными из прочного и легкого материала.

Методика проектирования кругов с дисками аналогична описанной ранее, номограмма для определения коэффициента повышения скорости кругов приведена на рис. 5.5; рекомендации по проектированию и значения поправок Δ представлены ранее в работах [259–261].

На номограмме (см. рис. 5.5) дана шкала коэффициентов $n_д$ (диск), рассчитанных при $l = 1$. Правая незаштрихованная область — это область нерекомендуемых значений. Область $\beta_д \geq 1{,}7$ также практически нереализуема.

Условие проектирования кругов с дисками можно записать в следующем виде: $\beta_д \geq \beta_v$, где $\beta_д$ — проектируемый коэффициент максимально возможного повышения скорости круга за счет упрочнения боковыми дисками.

Таким образом, конструирование шлифовальных кругов указанными выше способами решает проблему создания безопасных условий работы при высоких скоростях.

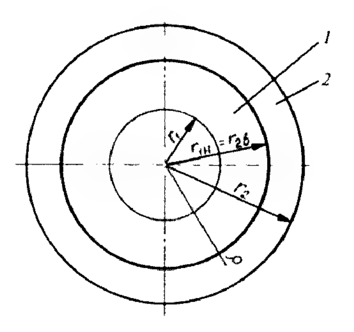


Рис. 5.6. Схема круга с упрочняющей центральной частью:

1 — упрочняющая часть;
2 — режущая часть

Разработанная методика применима к проектированию скоростных и высокоскоростных кругов из любого абразивного материала на любой связке широкой гаммы характеристик по зернистости материала, твердости, структуре.

Конструкция составных кругов: *1) с упрочняющей центральной частью.* Схема круга с упрочняющей центральной частью представлена на рис. 5.6, а эпюры напряжений в кругах с упрочняющей частью — на рис. 5.7. Основными напряжениями, которые вызывают разрушение круга, являются тангенциальные

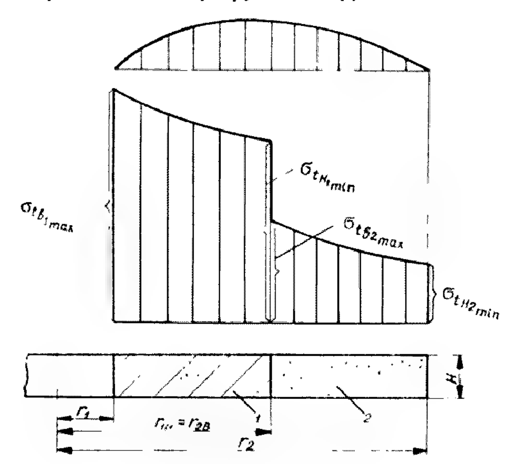


Рис. 5.7. Эпюры тангенциальных напряжений в абразивном инструменте, состоящем из упрочняющей (*1*) и режущей (*2*) частей:

$\sigma_{tв1}$, $\sigma_{tн1}$ — тангенциальные напряжения на внутренней и наружной поверхностях упрочняющей части; $\sigma_{tв2}$, $\sigma_{tн2}$ — тангенциальные напряжения на наружной поверхности режущей части; σ_r — радиальные напряжения

напряжения $\sigma_{tв1}$ на поверхности отверстия круга и на внутренней поверхности режущего кольца $\sigma_{tв2}$. Основные расчетные зависимости напряжения в кругах записываются в следующем виде:

радиальные напряжения на контактной поверхности режущей и упрочняющей частей:

$$\sigma_r = U^2 \frac{M_2 - M_1}{N_2 + N_1}; \qquad (5.4)$$

тангенциальные напряжения на внутренней и наружной поверхностях упрочняющей части:

$$\sigma_{tв1} = U^2 \left[\frac{M_2 - M_1}{N_2 + N_1} \left(\frac{2}{1 - \alpha_1^2} \right) + C_1 \left(2\alpha_2^2 + \alpha^2 \right) - D_1 \alpha^2 \right]; \qquad (5.5)$$

$$\sigma_{tн1} = U^2 \left[\frac{M_2 - M_1}{N_2 + N_1} \frac{1 + \alpha_1^2}{1 - \alpha_1^2} + C_1 \left(\alpha_2^2 + \alpha + \alpha_1^2 \alpha_2^2 \right) - D_1 \alpha_2^2 \right]; \qquad (5.6)$$

тангенциальные напряжения на внутренней и наружной поверхностях режущей части круга:

$$\sigma_{tв2} = U^2 \left[-\frac{M_2 - M_1}{N_2 + N_1} \frac{1 + \alpha_2^2}{1 - \alpha} + C_2 \left(2 + \alpha_2^2 \right) - D_2 \alpha_2^2 \right]; \qquad (5.7)$$

$$\sigma_{tн2} = U^2 \left[-\frac{M_2 - M_1}{N_2 + N_1} \frac{2\alpha_2^2}{1 - \alpha_2^2} + C_2 \left(1 + 2\alpha_2^2 \right) - D_2 \alpha_2^2 \right], \qquad (5.8)$$

где $M_1 = E_1\gamma_2[(3 + \mu_2)\alpha_2 + \alpha_2^2(1 - \mu_2)]$; $M_2 = E_2\gamma_1[(3 + \mu_1) + \alpha_2^2(1 - \mu_1)]$; $N_1 = 4gE_1 \left(\frac{1 + \alpha_1^2}{1 - \alpha_1^2} - \mu_2 \right)$; $N_2 = 4gE_2 \left(\frac{1 + \alpha_2^2}{1 - \alpha_2^2} - \mu_1 \right)$; $C_1 = \frac{3 + \mu_1}{8g}\gamma_2$; $D_1 = \frac{1 + 3\mu_1}{8g}\gamma_2$;

$C_2 = \frac{3 + \mu_2}{8g}\gamma_1$; $D_2 = \frac{1 + 3\mu_2}{8g}\gamma_1$.

При этом

$$\alpha = \frac{r_1}{r_2}; \; \alpha_1 = \frac{r_1}{r_{1н}}; \; \alpha_2 = \frac{r_{1н}}{r_2};$$

E_1 и E_2 — модули упругости материала режущей и упрочняющей частей; $\mu_1 = \mu_2 + 0{,}28$; γ_1, γ_2 — плотность материала режущего и упрочняющего колец; g — ускорение свободного падения.

Значения этих напряжений, как следует из уравнений (5.6)–(5.8), зависят от свойств материалов режущей и упрочняющей частей, их плотности и модуля упругости, а также от отношений внутреннего диаметра режущего кольца круга к наружному и от внутреннего диаметра круга к наружному.

В табл. 5.3 представлены рассчитанные значения напряжений $\sigma_{tв1}$, $\sigma_{tв2}$ и σ_r в кругах, упрочненных материалами, условно обозначенными А, Б, В и Г, имеющими различные свойства: плотность и модуль упругости. При этом α

Таблица 5.3

Расчетные значения напряжений в абразивных кругах, упрочненных материалами А, Б, В и Г, имеющими различные свойства

Материал для упрочнения круга	Характеристика упрочняющего			$a = r_1/r_2$	$a_2 = r_{1H}/r_2$											
	Плотность	Модуль	Предел		0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8
А	27	1,3	160	0,25	24,9	23,5	22,9	22,6	6,8	5,7	4,8	4,0	7,0	6,2	5,0	3,5
	27	1,3	160	0,34	28,5	25,4	24,0	23,2	8,4	6,5	5,3	4,3	6,1	5,8	4,8	3,5
	27	1,3	160	0,40	35,5	28,1	25,6	23,9	10,6	7,7	5,9	4,6	4,7	5,3	4,6	3,4
	27	1,3	160	0,50	–	34,0	28,3	25,7	–	11,7	8,5	6,7	–	3,4	3,7	2,9
Б	26	3,9	122	0,25	28,8	25,8	24,0	23,0	4,3	3,5	2,8	2,1	8,5	7,3	5,7	3,9
	26	3,9	122	0,34	35,4	28,8	25,6	23,7	5,1	3,9	3,0	2,2	8,1	7,1	5,6	3,9
	26	3,9	122	0,40	47,6	33,5	27,6	24,7	6,5	4,4	3,2	2,4	7,2	6,8	5,5	3,9
	26	3,9	122	0,50	-	50,0	33,9	27,7	–	6,9	4,4	3,2	-	5,7	5,1	3,7
В	78	2,0–2,5	400	0,25	36,0	39,0	43,6	49,8	6,9	6,2	5,7	5,4	7,0	6,0	4,7	3,2
	78	2,0–2,5	400	0,34	40,4	41,1	44,8	50,3	6,1	6,8	6,0	5,6	6,2	5,7	4,6	3,2
	78	2,0–2,5	400	0,40	47,0	44,1	46,2	51,1	10,0	7,7	6,5	5,8	5,1	5,3	4,4	3,1
	78	2,0–2,5	400	0,50	-	50,0	49,2	53,4	–	12,2	10,2	9,3	–	3,2	3,2	2,4
Г	20	0,3	–	0,25	14,0	14,7	15,3	15,9	8,0	7,3	6,7	6,2	3,5	3,5	3,0	2,2
	20	0,3	–	0,34	13,8	14,8	15,5	16,1	9,3	8,4	7,6	6,9	2,5	2,9	2,7	2,1
	20	0,3	–	0,40	13,7	14,9	15,7	16,3	10,5	9,5	8,6	7,7	1,6	2,3	2,4	2,0
	20	0,3	–	0,50	–	12,6	13,9	15,2	10,5	9,8	9,2	8,6	–	0,8	1,1	1,1

в кругах изменялась от 0,25 до 0,50, а α_2 — от 0,5 до 0,8. Режущая часть круга имела следующую характеристику: плотность — $20 \cdot 10^{-3}$ МН/м^3, модуль упругости — $5 \cdot 10^5$ МПа, скорость круга — 100 м/с.

Как видно из табл. 5.3, для создания составного круга в качестве упрочняющего материала необходимо использовать легкий материал со сравнительно невысоким модулем упругости. Инструмент должен иметь относительно малое посадочное отверстие и большой диаметр упрочняющей втулки. При этом оптимальными соотношениями являются $\alpha = 0{,}25$ и $\alpha_2 = 0{,}7$. В этом случае напряжения в кругах при вращении минимальны;

2) с упрочняющими дисками. Схема составного шлифовального круга, упрочненного дисками, представлена на рис. 5.8, а векторы напряжений в элементе несущей части — на рис. 5.9. Авторами [259–262] предложены выражения для расчета напряжений в шлифкругах, упрочненных дисками, удобные для практического применения.

По результатам расчетов построены эпюры распределения напряжений по радиусу круга, а также выделены характерные сечения (рис. 5.10), функции основных напряжений для которых приводятся ниже ($\mu = \mu_д$):

для сечения $B-B$

$$K_{tB}^{A} = A_д\left(\alpha_2^2 + \frac{1-\mu}{3+\mu}\alpha_1^2\right) + K_д\left(1-\alpha_2^2\right), \quad K_{tB}^{д} = K_{tB}/l; \tag{5.9}$$

для сечения $C-C$

$$K_{rC} = \frac{K_д}{2}\left(1+\alpha_1^2 - \frac{\alpha_1^2}{\alpha_2^2} - \alpha_2^2\right); \tag{5.10}$$

$$K_{tC}^{A} = K_{tC} = A_д\left(\alpha_1^2 + \frac{1-\mu}{3+\mu}\alpha_2^2\right) + \frac{K_д}{2}\left(1-\alpha_1^2 + \frac{\alpha_1^2}{\alpha_2^2} - \alpha_2^2\right); \tag{5.11}$$

для сечения $K-K$

$$K_{tK} = \alpha_2^2 + \frac{1-\mu}{3+\mu} - K_д\left(\alpha_2^2 - \alpha_1^2\right). \tag{5.12}$$

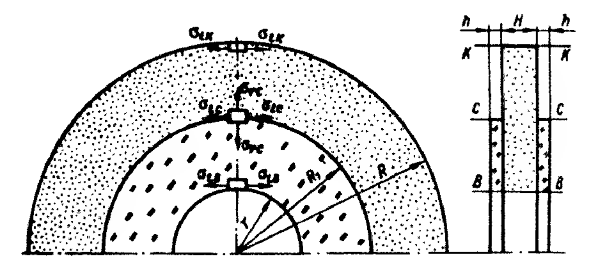


Рис. 5.8. Схема составного шлифовального круга, упрочненного дисками с указанием напряжений и сечений в нем

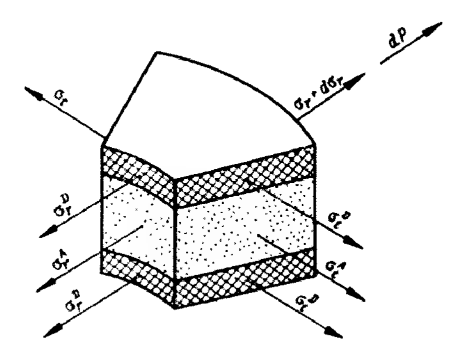


Рис. 5.9. Векторы напряжений
в элементе несущей части составного шлифовального круга,
упрочненного дисками

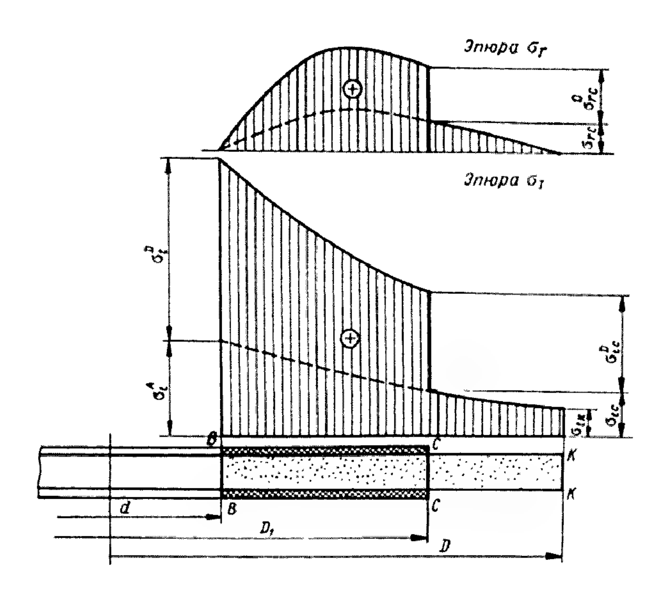


Рис. 5.10. Распределение напряжений
в составном шлифовальном круге

В выражениях (5.9)–(5.12) коэффициенты A_1 и K_1 имеют вид

$$A_{д} = \frac{1+2Г_{н}}{1+2H/e}; \quad (5.13)$$

$$K_{д} = \frac{1}{1-\alpha_1^2}\left[1-\alpha_1^2 A_1 + \alpha_2^2 \frac{1-\mu}{3+\mu}(1-A_{д})\right], \quad (5.14)$$

где α_1, α_2, Г, e, H — безразмерные параметры, описание которых приводится в табл. 5.4.

Функции n_{pp} являются довольно универсальными, так как применимы для шлифовальных кругов на любых связках и позволяют оценить влияние свойств и размеров круга и дисков на прочность составного элемента.

На рис. 5.11 приведены графики функций основных напряжений для характерных сечений составного шлифкруга в зависимости от отношения плотностей Г и модулей упругости e. Анализ изменения функций K_{pp} показал, что максимальными для несущей части круга, упрочненного дисками, являются тангенциальные напряжения по посадочной поверхности сечения $B-B$, описываемые функциями K_{tB}^{A} и $K_{tB}^{д}$, для режущей части — эти же напряжения по сечению $C-C$, описываемые функцией K_{tC}.

При увеличении плотности материала дисков напряжения возрастают, разность между инерционными нагрузками увеличивается, растет касательная составляющая сил, которая стремится сдвинуть упрочняющие диски относительно круга, создавая опасный уровень напряжений на поверхности их соединения; возрастает нагрузка на шпиндель станка. Таким образом, увеличение плотности материала дисков не способствует упрочнению составного круга.

За опорное значение отношения модуля упругости шлифовального круга к модулю упругости материала упрочняющих дисков принято $e = 1$. Увеличение

Таблица 5.4

Рекомендуемые параметры составных шлифовальных кругов, упрочненных дисками

Параметр	Рекомендуемые величины	
	оптимальные	возможные (допустимые)
Отношение внутреннего диаметра круга к наружному $\alpha_1 = d/D$	Менее 0,3	Менее 0,35
Отношение внутреннего диаметра режущей части круга к наружному диаметру $\alpha_2 = D_1/D$	0,8	Более 0,6
Отношение толщины двух дисков к высоте шлифовального круга $н = 2h/H$	При h = 5 мм более 0,5	При h = 5 мм более 0,3
Отношение плотности материала упрочняющего диска к плотности шлифовального круга $Г = \gamma_д/\gamma$	Менее 1,0	Менее 2,5
Отношение модуля упругости шлифовального круга к модулю упругости материала упрочняющего диска $e = E/E_д$	1,0	0,6–2,0
Отношение предела прочности на изгиб образца из материала упрочняющего диска к пределу прочности образца шлифовального круга $n = \sigma_д/\sigma_а$	Более 10	–

отношения модулей упругости e также приводит к увеличению напряжений в шлифовальном круге. При увеличении отношения модулей упругости материала дисков ($e <$ < 1) уровень напряжений в них, а следовательно, и на поверхности шлифовального круга резко повышается. Так, например, при $e = 0,5$ и $\Gamma = 1$ напряжения увеличиваются в полтора раза. И все-таки предпочтительнее материал дисков с модулем упругости несколько бо́льшим, чем модуль упругости шлифовального круга, так как при этом понижается уровень опасных напряжений K_{tC} в режущей части круга и увеличивается эффективность упрочнения.

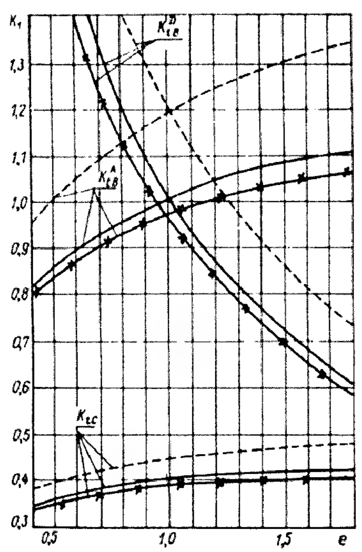


Рис. 5.11. Изменение функций основных напряжений K_t в зависимости от отношений Г и e при $\alpha_1 = 0,25$, $\alpha_2 = 0,8$, $H = 0,5$:
×——× – Г = 0,3; ——— – Г = 1,0; – – – Г = 2,0

При анализе изменения размеров составного шлифовального круга установлено, что увеличение его посадочного отверстия ведет к росту всех напряжений в круге; особенно быстро возрастают максимальные напряжения в режущей части, они увеличиваются и при уменьшении диаметров дисков. На уровень опасных напряжений в несущей части круга изменение отношения α_2 практически не влияет. Увеличение толщины дисков не оказывает существенного влияния на функции K_{tC} и K_{tB}. В качестве опорных параметров были приняты толщина диска $h = 5$ мм и отношение $H = 0,5$.

Ниже рекомендуется порядок проектирования.

Выбираются характеристика, размеры, отношение α_1 и наибольшая рабочая скорость $v_{раб}$ шлифовального круга, отвечающие требованиям технологии обработки.

Изготавливается шлифовальный круг проектируемых характеристик и размеров, после чего экспериментально устанавливаются плотность γ, модуль упругости E и разрывная скорость $v_р^*$ (эти данные могут быть известны заранее).

Определяется задаваемый коэффициент повышения скорости круга по формуле

$$\beta = \frac{v_{раб} n_v}{v_р^*},$$

где n_v — коэффициент запаса по разрывной скорости.

По рис. 5.12 из областей графика ниже линий равных коэффициентов $\beta_д$ подбирается материал дисков, т. е. по отношениям e и Г при установленных выше свойствах шлифовального круга E и γ выбирается $E_д$ и $\gamma_д$. Значения $\beta_д$, находящиеся в незаштрихованной области рисунка (правее ординаты Г = 2),

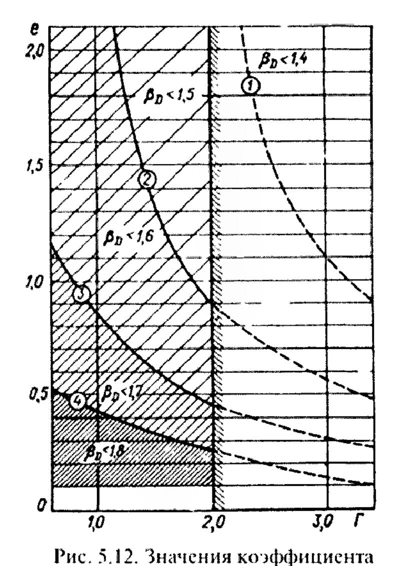


Рис. 5.12. Значения коэффициента повышения скорости β при $\alpha_1 = 0{,}25$, $\alpha_2 = 0{,}80$:
1, 2, 3, 4 – линии равных коэффициентов β

применять не рекомендуется. Если материал дисков выбран заранее, то по рис. 5.12 находится $\beta_Д$.

Задается ширина режущей части круга, и чем выше заданный коэффициент повышения скорости, тем больше должен быть диаметр упрочняющих дисков, а следовательно, и отношение α_2.

После выбора материала дисков и установления его свойств $E_Д$ и $\gamma_Д$ определяются отношения *e* и Г и проектируемый коэффициент повышения скорости $\beta_Д = 1/\sqrt{K_{tC}}$.

Если коэффициент $\beta_Д$ находится по графику (см. рис. 5.12), то необходимо из него вычесть поправку Δ на размеры круга, которая приведена в табл. 5.5.

Проверяется выполнение условия проектирования $\beta_Д \geq \beta$, так как проектируемый составной инструмент должен обеспечить безопасную работу при заданной скорости.

При выполнении условия проектирования проводится проверка прочности несущей части шлифкруга из условия

$$\beta_0\sqrt{n} \geq \beta.$$

Здесь $\beta_0 = 1/\sqrt{K_{tB}^A}$ — коэффициент изменения скорости вследствие изменения уровня наибольших тангенциальных нормальных напряжений несущей части круга. Значения этого коэффициента при опорных отношениях α_1 и α_2 представлены на рис. 5.13. Изменение α_1 и α_2 практически не влияет на величину β_0. На рис. 5.13 показано также изменение коэффициента $\sqrt{n}$, который определен экспериментально в зависимости от отношения *e* при опорных значениях *H* = 20 мм и *n* = 0,5;

3) с уменьшением диаметра отверстия. Расчет тангенциальных напряжений по уравнению (5.1) в кругах диаметрами 500 и 600 мм и отверстиями диаметрами 127, 203 и 305 мм позволил получить для расчета следующие зависимости

Таблица 5.5

Значения Δ к коэффициенту $\beta_Д$

Г	*e*	α_1	Δ при α_2		
			0,8	0,7	0,6
1	0,5	0,25	0	0,13	0,24
	0,5	0,30	0,07	0,20	0,31
	0,5	0,35	0,13	0,27	0,38
	1,0	0,25	0	0,09	0,18
	1,0	0,30	0,06	0,15	0,24
	1,0	0,35	0,12	0,22	0,32
	1,5	0,25	0	0,08	0,15
	1,5	0,30	0,05	0,14	0,23
	1,5	0,35	0,13	0,20	0,29
2	0,5	0,25	0	0,09	0,18
	0,5	0,30	0,05	0,15	0,24
	0,5	0,35	0,12	0,22	0,32
	1,0	0,25	0	0,06	0,13
	1,0	0,30	0,06	0,13	0,20
	1,0	0,35	0,13	0,19	0,26
	1,5	0,25	0	0,04	0,09
	1,5	0,30	0,05	0,10	0,16
	1,5	0,35	0,35	0,17	0,23

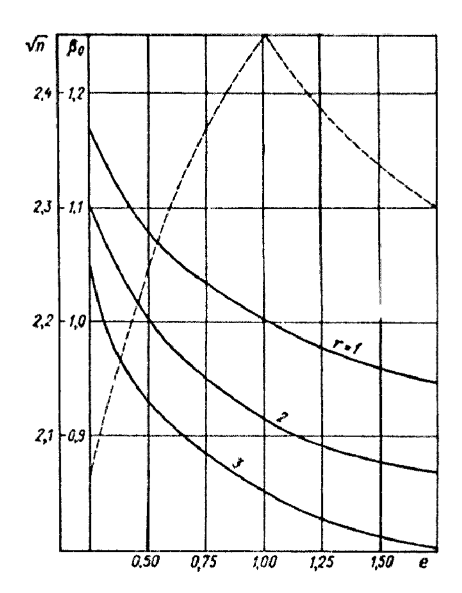


Рис. 5.13. Изменение коэффициентов β_0 (сплошные линии) и $\sqrt{n}$ (пунктирная линия) в зависимости от отношений Г и *l* при $\alpha_1 = 0{,}25$, $\alpha_2 = 0{,}80$

для расчета σ_{max} (при $\mu = 0{,}28$; $g = 9{,}81$ м/с^2; $\alpha = \frac{r_1}{r_2}$ и $U = \omega r^2$):

при $\alpha = 0{,}25$ (круг 500 × 127) $\sigma_{tmax} = 8{,}48\gamma v^2$;
при $\alpha = 0{,}30$ (круг 500 × 152) $\sigma_{tmax} = 8{,}52\gamma v^2$;
при $\alpha = 0{,}34$ (круг 600 × 203) $\sigma_{tmax} = 8{,}57\gamma v^2$;
при $\alpha = 0{,}40$ (круг 500 × 203) $\sigma_{tmax} = 8{,}65\gamma v^2$;
при $\alpha = 0{,}51$ (круг 600 × 305) $\sigma_{tmax} = 8{,}84\gamma v^2$.

Таким образом, максимальные напряжения для кругов с $\alpha = 0{,}51$ по сравнению с кругами с $\alpha = 0{,}25$ возрастают на 4,2 %. Следовательно, изменение отверстия круга не позволяет существенно уменьшить напряжения в обычных кругах;

4) без центрального посадочного отверстия. В кругах без центрального посадочного отверстия (рис. 5.14) напряжения значительно меньше, чем в кругах с посадочным отверстием.



Рис. 5.14. Схема круга без центрального посадочного отверстия

При вращении круга без посадочного отверстия тангенциальные σ_t и радиальные σ_r напряжения определяются по следующим уравнениям:

$$\sigma_t = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{8g}\left(1 - \frac{1+3\mu}{3+\mu}\rho^2\right); \qquad (5.15)$$

$$\sigma_r = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{8g}\left(1-\rho^2\right). \qquad (5.16)$$

Наибольшие напряжения возникают в центре диска при $\rho = 0$, тогда

$$\sigma_{r\,max} = \sigma_{t\,max} = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{8g}. \qquad (5.17)$$

Подставляя значение $\mu = 0{,}3$, $g = 9{,}81$ м/с^2 и $v = \omega r^2$, получим

$$\sigma_{max} = 4{,}2 \cdot 10^{-4}\gamma v^2. \qquad (5.18)$$

Сравнение значений наибольших напряжений в кругах с посадочным отверстием и без него (табл. 5.6) показывает, что напряжения в последних в два раза меньше. Безусловно, необходимо учитывать, что при креплении круга на планшайбу его прочность будет несколько снижаться.

Таблица 5.6

Максимальные напряжения в кругах с посадочным отверстием и без него

Типоразмер круга и его характеристика	$\sigma_{t_{max}}$, МПа, при разной скорости вращения круга, м/с			
	100	120	171	205
1 500 (с отверстием 152 мм) 24А 16 СМ2 8 К43	18,7	26,9	54,6	78,7
1 500 (без отверстия) 24А 16 СМ2 8 К43	9,2	13,3	27,0	38,8

Крепление кругов без центрального отверстия на шлифовальных станках требует модернизации планшайбы станков, что является затруднительным. Поэтому, несмотря на повышенную механическую прочность таких кругов, они пока в промышленности не могут быть использованы;

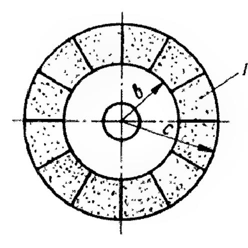


Рис. 5.15. Схема сегментного шлифовального круга:
1 — сегменты

5) с сегментными кругами. Повышенной прочностью по сравнению с обычными кругами обладают круги сегментные, т. е. круги, собранные из отдельных частей в специальной металлической планшайбе.

При вращении такого круга возникают центробежные силы, стремящиеся оторвать сегменты от металлической центральной части. Эти силы тем больше, чем больше угловая скорость вращения круга ω, высота сегментов (вылет сегментов из планшайбы $h = c - b$) и средняя плотность сегментов γ (рис. 5.15).

Максимальные отрывные усилия P_{max}, действующие на единицу площади сечения сегмента радиусом b, рассчитываются по формуле

$$P_{max} = \frac{\gamma\omega^2}{gb}\frac{1}{3}\left(c^3 - b^3\right). \qquad (5.19)$$

Как было показано, максимальные напряжения в обычном шлифовальном круге рассчитываются по формуле (5.3). При $\mu = 0,28$ эта формула принимает вид

$$\sigma_{t\,max} = \frac{\gamma\omega^2}{4g}\left(3,3 + 0,7\alpha^2\right). \qquad (5.20)$$

Сравнительные данные расчета максимальных напряжений σ_t в обычных и сегментных кругах приведены в табл. 5.7. Данные таблицы свидетельствуют, что максимальные напряжения в сегментных кругах примерно в восемь раз ниже, чем в обычных.

Однако сегментные круги имеют следующие недостатки:

сложная и тяжелая конструкция круга требует тщательной балансировки перед началом работы; неуравновешенные массы при скоростях круга, превышающих 100 м/с, могут вызвать недопустимо большой уровень вибраций;

небольшая выступающая рабочая часть сегментов значительно уменьшает стойкость круга до полного износа;

нерабочая часть сегментов, находящаяся под фланцами, должна быть достаточно широкой (не меньше выступающей), чтобы не произошел срез сегмента под действием центробежных сил, но это приводит к большому расходу абразива (в обычных кругах коэффициент полезного использования абразива больше, чем в сегментных);

сегментная конструкция круга способствует увеличению интенсивности вибраций, вызванных прерывистостью и неоднородностью его рабочей поверхности.

Несмотря на перечисленные недостатки, сегментные круги являются в настоящее время наиболее перспективным способом создания кругов с рабочими

Таблица 5.7

Сравнительные данные результата расчета максимальных напряжений σ_t в обычных и сегментных абразивных кругах

Типоразмер абразивного круга	Значение $\sigma_{t\,max}$ в обычных и P_{max} в сегментных кругах, МПа, при скоростях, м/с		
	120	180	200
Обычный 1 500 × 25 × 203	26,8	61,0	80,5
Сегментный * 500 × 25	3,4	7,0	9,5
Обычный 1 600 × 30 × 203	26,6	60,5	80,0
Сегментный ** 600 × 30	3,2	7,1	9,7

* $h = c - b = 25$ мм.

** $h = c - b = 30$ мм.

скоростями вращения в диапазоне 100—200 м/с. Опыт шлифования такими круга уже имеется. Например, в работе [256] приведены результаты круглого наружного шлифования в диапазоне скоростей 100—185 м/с кругом диаметром 600 × 10 × 203,2, состоящим из 12 сегментов, выступающих над поверхностью металлического диска на 15 мм. Шпиндель круга на гидродинамических подшипниках приводился во вращение от гидродвигателя мощностью 35 кВт.

Выбор материала для упрочнения абразивных кругов. Несмотря на то что способы упрочнения абразивных кругов по схемам 2 и 3 применяются давно, их широкое внедрение сдерживалось из-за использования стали в качестве материала дисков или втулок. При вращении круга из-за большой разницы в плотности и модулях упругости материалов шлифовального круга и стали, в слое, соединяющем части составного инструмента, возникают значительные напряжения, что является причиной разрушения круга либо по клеевому шву, либо по граничной с ним абразивной части при скорости, близкой к разрывной скорости неупрочненного круга.

Авторы [258] при исследовании напряжений, возникающих при вращении составных кругов, показали, что упрочняющие элементы целесообразно изготавливать из легких материалов. Предложено было в качестве материалов для дисков и втулок применять алюминиевые сплавы [260].

При дальнейших исследованиях и разработке составных кругов авторы определили требования к упрочняющим материалам: легкий материал со сравнительно невысоким модулем упругости, близким или равным модулю упругости рабочей части круга, оптимальной плотностью $20 \cdot 10^{-3}$ МН/м^3, пределом прочности не менее 100 МПа (больше прочности режущей части круга в два-три раза).

По указанным свойствам авторы выбрали для дисков и втулок композиционные материалы на основе эпоксидных смол (стеклопластики марок СТЭТ-1 и СТЭТ-2 по ТУ 5-97713041—75) и стеклопластик специального состава [265].

С применением этих материалов были изготовлены опытные круги.

Технологические схемы изготовления скоростных кругов. С учетом конструкций кругов разработаны три схемы изготовления абразивного инструмента:

1) спекание двух абразивных смесей, физические свойства которых различны, а прочность материала несущей части превышает прочность режущей части круга не более чем в два раза [266];

2) изготовление кругов из различных материалов, в которых материал несущей части втулки существенно прочнее материала режущей части круга;

3) упрочнение абразивных кругов торцевыми дисками.

Технология изготовления шлифовального круга по наиболее простой схеме № 1 (рис. 5.16) заключается в том, что в пресс-форму устанавливается кольцо, разделяющее объем пресс-формы на две части. Затем в наружную часть укладывается формовочная смесь для режущего слоя круга, а во внутреннюю часть — для упрочняющего слоя; вынимается разделительное кольцо, и круг формуется. Укладка смеси может быть осуществлена разравнивающей машиной модели ДУМ-В-2М [267], имеющей два вида лопастей. Кроме этого, для изготовления круга равномерной плотности применяются гидроплиты, состоящие из двух камер (рис. 5.17), прессующих каждую смесь отдельно [268]. Гидроплита содержит цилиндрическую полую обойму *1*, установленную в ней кольцевую

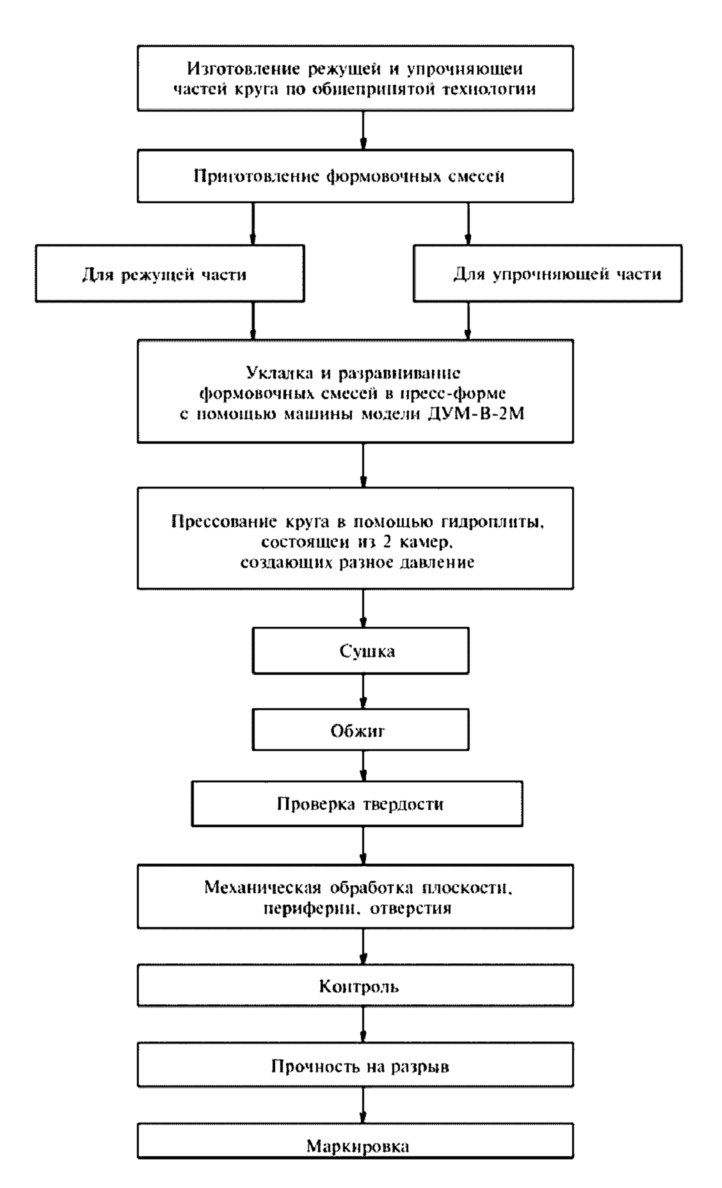


Рис. 5.16. Технологическая схема изготовления скоростного круга 1 500 × 13 × 203 по схеме № 1



Рис. 5.17. Гидроплита для прессования двух различных смесей одновременно:

1 — цилиндрическая обойма, *2* — проставка; *3*, *4* — кольцевые резиновые камеры

проставку *2*, основную (*3*) и дополнительную (*4*) кольцевые камеры из жесткой резины. Кольцевая проставка *2* выполнена диаметром 0,6–0,8 диаметра обоймы *1*.

Работа формовочной плиты пресс-формы осуществляется следующим образом (рис. 5.18). В пресс-форму устанавливается кольцевая проставка *5*, затем в пресс-форму укладываются две подготовленные формовочные смеси: смесь *4* — для упрочняющей части круга во внутреннее кольцо пресс-формы и смесь *6* — для режущей части круга в наружное кольцо пресс-формы. Затем проставка *5* вынимается и в заполненную формовочными смесями пресс-форму помещается формовочная плита с камерами *3* и *4* и производится прессование круга.

Так как прессование производится двумя независимыми одна от другой камерами, наполненными водой, то при прессовании в камерах за счет различной формуемости смесей создается разное давление. Последнее обеспечивает различную и равномерную плотность внутри каждой из частей круга.

Заформованный круг выталкивается из пресс-формы, подвергается сушке, обжигу, механической обработке и испытанию в соответствии с действующим технологическим процессом.

В табл. 5.8 представлены примеры составов формовочных смесей, включающих в себя режущую и упрочняющую части. При этом составы формовочных смесей подбираются так, чтобы усадка режущего и упрочняющего слоев при термической обработке была приблизительно равной.

Упрочнение зоны отверстия круга мелкозернистой структурой (от 16 и мельче) позволяет увеличить прочность круга примерно на 20–30 % (если сравнить с кругом 24А25СМ7К5), а разрывную скорость — на 10 %. Примерно такой же результат получается при изготовлении кругов с повышенной

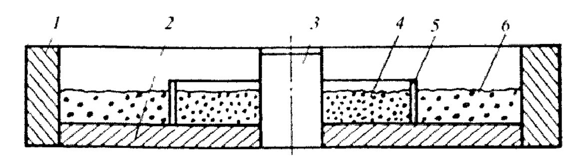


Рис. 5.18. Схема прессования с применением гидроплиты:

1 — кольцо пресс-формы; *2* — нижняя формовочная плита, *3* — оправка; *4* — формовочная смесь для упрочняющей середины круга; *5* — проставка; *6* — формовочная смесь для режущей части круга

Таблица 5.8

Результаты испытаний прочности кругов, состоящих из режущей и упрочняющей частей

Тип и размер круга, марка материала режущей и упрочняющей частей	Марка связки	Структура круга	Плотность ρ, МН/м^3	Твердость по ГОСТ 18118–79	Предел прочности на изгиб, МПа	Усадка, %	Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$, МПа	Скорость вращения круга	
								разрывная $V_{разр}$	рабочая $V_{раб}$
1 500 × 25 × 203									
91А25 без упрочнения	153	7	20,0	СТ2-С1	36,8	0,30	5,2	120	70
91А25 – режущая часть 24А12 – упрочняющая часть	153	7 5	23,1	СМ2 СТ1–СТ2	59,4	0,33	7,16	136–141	80
91А16 без упрочнения	153	7	22,0	СМ2	41,0	0,35	5,50	120	70
91А16 – режущая часть 24А16/М14 – 100/10 – упрочняющая часть	153	7 5	26,3	СМ2 СТ3	68,2	0,30	8,55	150	80
24А16 без упрочнения	153	5	22,9	С2	50,0	0,25	6,0	125	70
1 500 × 16 × 127 24А16 – режущая часть 24А6 – упрочняющая часть	К43	7 5	22,9	СМ2 СТ1–СТ2	75,0	0,35	8,50	157	90

твердостью в зоне отверстия. В случае изготовления мягких кругов с более крупными зернами в рабочей части (от № 40 и крупнее) эффект повышения прочности более значителен [269, 270].

На рис. 5.19 показан круг, изготовленный по технологии с использованием схемы 1. Такая технология изготовления кругов обеспечивает рабочую скорость круга из электрокорундовых материалов 80 м/с в широком диапазоне характеристик, а скорость 60 м/с — для инструмента из карбида кремния зеленого.

Для обеспечения работы кругов при скорости 100–125 м/с рекомендуется изготовлять составные круги по второй и третьей схемам.

По схеме 2 изготавливается отдельно режущая часть круга и втулка из прочного материала. После предварительной механической обработки части круга склеиваются специальными клеями. Затем круг подвергается окончательной доводке и испытанию на прочность.

Ширина и внутренний диаметр втулки определяются соответственно высотой и посадочным отверстием абразивного круга. Внутренний диаметр круга должен составлять 0,8 его наружного диаметра. Механическая обработка соединяемых поверхностей втулки и круга должна производиться под углом 10°. Зазор между режущей и упрочняющей частями круга должен быть не более 0,5 мм. Затем обе части круга склеиваются клеями, прочность которых должна быть выше, чем у абразивного круга. Технологическая схема изготовления такого круга представлена на рис. 5.20.

Втулка может быть изготовлена как из металла, так и из пресс-материала СТЭТ-1, из которого на прессе горячего прессования формуется заготовка размером 405 × 20 × 150 мм (для круга диаметром 500 мм), затем на токарном станке вытачиваются диски размером 400 × 16 × 152 мм и склеиваются с абразивным кругом (рис. 5.21).

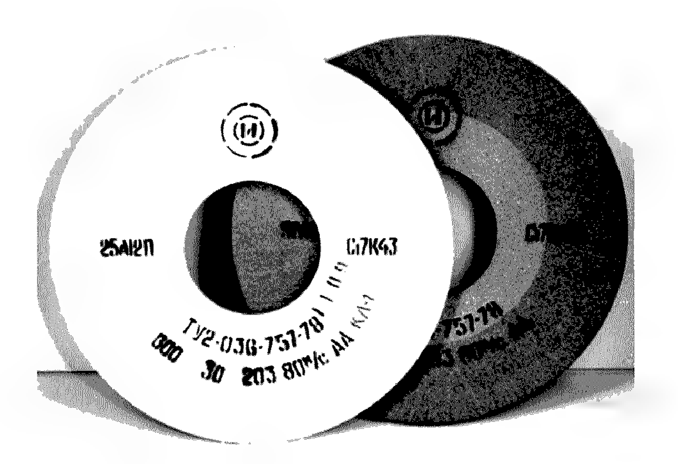


Рис. 5.19. Шлифовальный круг, изготовленный по технологии с использованием схемы № 1

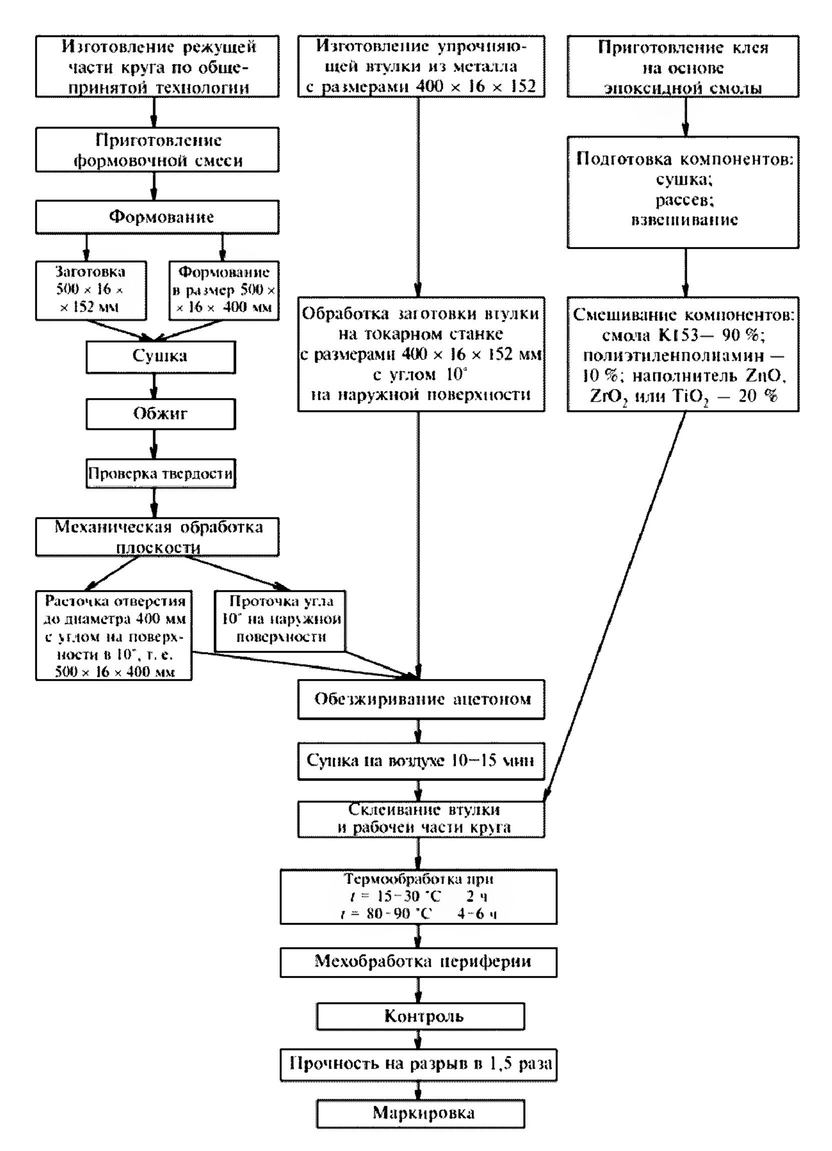


Рис. 5.20. Технологическая схема изготовления скоростного круга 1 500 × 25 × 203 по схеме № 2

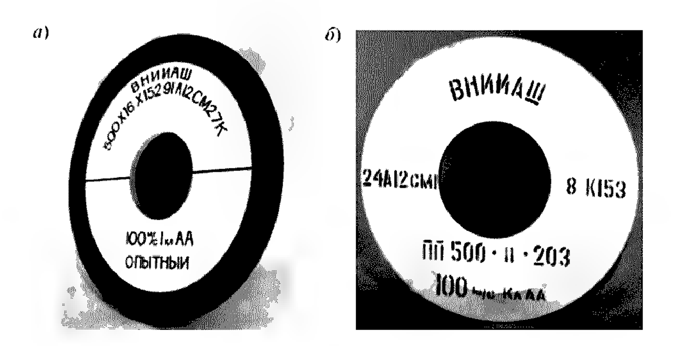


Рис. 5.21. Шлифовальные круги, изготовленные по схеме № 2, с прочными вставками (*а*) и с уплотненной серединой (*б*)

Способ изготовления круга со втулкой является наиболее универсальным и может быть использован при упрочнении кругов высотой 35 мм и более, причем втулку можно использовать повторно.

Технология изготовления скоростных кругов *по третьей схеме* заключается в следующем: изготавливается круг заданной характеристики и диски (упрочняющие элементы), которые выполнены из металла или пресс-материала марки СТЭТ-1 или СТЭТ-2 по ТУ 5-97713041–75.

Абразивный круг изготавливается по общепринятой технологии. Для изготовления дисков рекомендуется использовать лист металла толщиной 5–8 мм (в зависимости от высоты круга). Наружный диаметр дисков из металла должен составлять 0,8 внешнего диаметра абразивного круга, а внутренний диаметр должен соответствовать диаметру посадочного отверстия круга. Металлические диски накладываются на круг с двух сторон по плоскостям и склеиваются с кругом. После упрочнения кругов дисками производится механическая обработка и круги отправляются на испытания.

Конструкция составного круга с металлическими дисками предпочтительнее в том случае, если высота упрочняющего круга не превышает 35 мм.

Технология изготовления кругов с применением пресс-материала СТЭТ-1 или СТЭТ-2 состоит в следующем. Абразивный круг изготавливается по общепринятой технологии. Из материала СТЭТ-1 вырезаются заготовки с наружным диаметром, составляющим 0,8 внешнего диаметра круга (400 мм для круга диаметром 500 мм) и внутренним диаметром, равным диаметру отверстия круга. Диски из материала СТЭТ-1 соединяются с абразивным кругом методом горячего прессования.

При изготовлении кругов с применением пресс-материала СТЭТ-1 необходимо соблюдать требования по противопожарной безопасности и норм ПДК (предельно допустимой концентрации).

Технологическая схема изготовления кругов представлена на рис. 5.22, круги, изготовленные по второй и третьей схемам, для работы со скоростью 120 м/с — на рис. 5.23.

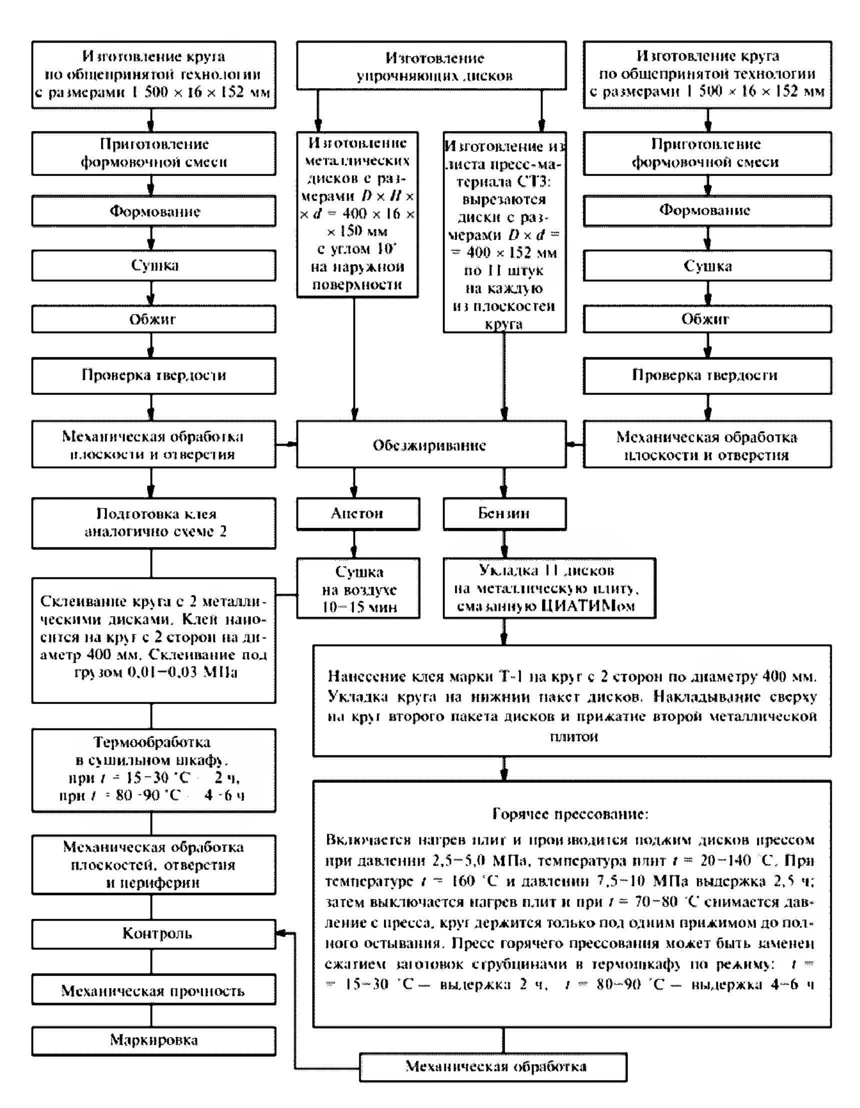


Рис. 5.22. Технология изготовления скоростного круга 1 500 × 20 × 203 по схеме № 3

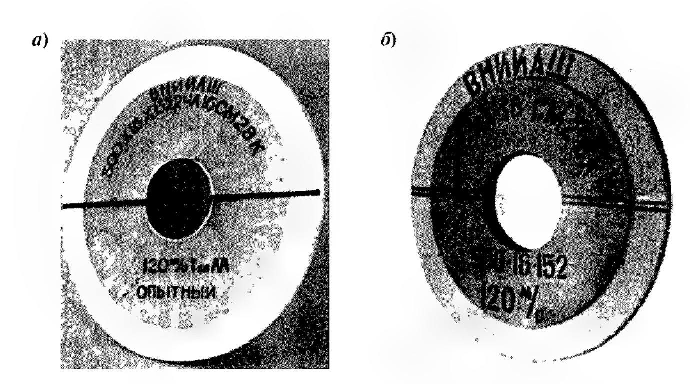


Рис. 5.23. Составной круг для шлифования со скоростью 120 м/с:
а — упрочнение круга втулкой; *б* — упрочнение круга дисками

При выпуске скоростных кругов диаметром более 250 мм на круг наносятся цветные полосы:

желтая — на круги с рабочей скоростью 60 м/с;

красная — на круги с рабочей скоростью 80 м/с;

зеленая — на круги с рабочей скоростью 100 м/с.

Станки для испытания механической прочности скоростных кругов. Все скоростные шлифовальные круги должны быть проверены на заводе-изготовителе на прочность в соответствии с ГОСТ 12.3.028–82 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52588–2006).

В табл. 5.9 приведены модели испытательных стендов, позволяющих проводить испытания на прочность кругов диаметром от 32 до 2000 мм со скоростью вращения, превышающей рабочую скорость в полтора раза, с вертикальным расположением шпинделя и возможностью автоматической загрузки.

Таблица 5.9

Типы стендов, применяемых для испытания кругов на прочность, и диапазон их применения

Тип станка, модель	Завод-изготовитель	Краткая техническая характеристика		
		Испытательная скорость, м/с	Разрывная скорость, м/с	Диаметр круга, мм
СИП-40	Липецкий станкостроительный завод	120	–	32–40
СИП-80	То же	120	–	50–125
СИП2-600	"	150	–	1 камера 250–400
СИП-1000С	"	150	180	1 камера 500–600
СИП-2000С	Лубенский станкостроительный завод "Коммунар"	130	160	600–1100 1200–2000

Требования к оборудованию для высокоскоростного шлифования. При конструировании или модернизации станков для высокоскоростного шлифования необходимо учитывать ряд явлений, возникающих при увеличении окружной скорости вращения круга, — это значительное увеличение потребляемой мощности привода круга, затрачиваемой на его холостое вращение и шлифование, центробежных сил вращающихся масс системы шпиндель—круг и интенсивности воздушного потока вокруг круга, являющегося препятствием для проникновения СОЖ в зону шлифования. При этом следует иметь в виду, что основная задача высокоскоростного шлифования — это существенное (до 10 и более раз) увеличение скорости съема припуска, требующее от станка больших скоростей врезных подач и комплекса различных мер по сохранению хорошего качества шлифованных поверхностей (увеличение жесткости и виброустойчивости технологической системы, усовершенствованная балансировка кругов, увеличение скорости детали, более совершенные системы смазки и охлаждения зоны шлифования и т. п.).

Современные высокоскоростные шлифовальные станки должны иметь следующие специфические особенности:

1) увеличенная мощность привода вращения круга, обеспечивающая большие скорости съема металла;

2) увеличенная скорость врезания (подача на глубину) для получения больших скоростей съема металла; это особенно важно для высокопроизводительных специализированных и специальных станков, например, высокоскоростные шлифовальные станки для обработки колец шарикоподшипников имеют скорость минутной врезной подачи несколько десятков миллиметров;

3) увеличенная частота вращения (или продольного перемещения для плоскошлифовальных станков) детали для обеспечения рационального отношения $v/v_{и} \leq 60-80$;

4) большая жесткость станка и его виброустойчивость, способные воспринимать большие статические и динамические нагрузки;

5) наличие системы точной балансировки шлифовального круга на шпинделе станка;

6) для реализации рациональных циклов управления процессом шлифования по параметру скорости резания желательно иметь в высокоскоростных станках бесступенчатое регулирование скорости круга или, по крайней мере, две-три рабочие скорости, которые можно использовать в цикле шлифования (например, 30 и 60 м/с или 20, 60 и 100 м/с);

7) наличие высокоэффективной системы подачи СОЖ в зону шлифования, а также системы очистки СОЖ от шлама и стружки, количество которой при высокоскоростном шлифовании увеличивается;

8) наличие систем надежной защиты окружающего пространства от возможного разрыва круга, а также от разбрызгивания смазочно-охлаждающей жидкости;

9) более высокий уровень механизации и автоматизации вспомогательных работ на станке для сокращения вспомогательного времени и времени правки круга, особенно для специализированных и специальных станков.

Преимущества высокоскоростного шлифования могут быть реализованы и на имеющихся в производстве шлифовальных станках путем их модернизации.

В этом случае перечисленные особенности высокоскоростных станков предусматривают обязательное изменение следующих узлов станка: шпиндельный узел с приводом вращения круга; приводы подач; защитные ограждения от возможного разрыва круга, а также ограждения от разбрызгивания и распыления СОЖ; система подачи и очистки СОЖ; устройства для балансировки круга и т. д. Должны быть проведены также различные меры по увеличению жесткости станка и автоматизации рабочих приемов (по мере надобности).

Более подробно основные элементарные сведения, характеризующие измененные узлы и системы высокоскоростных станков, подробно изложены в работе [256].

Номенклатура скоростных кругов на керамической связке. Абразивной промышленностью было освоено производство шлифовальных кругов из нормального, белого, хромтитанистого электрокорундов и карбида кремния зеленого для работы со скоростью от 45 до 80 м/с. Круги со скоростью 100–120 м/с изготавливались во ВНИИАШе в опытном варианте [271].

В табл. 5.10 приведены типы, размеры и характеристика шлифовальных кругов, выпускаемых промышленностью.

Эффективность технологии скоростного шлифования. Исследования и производственные испытания показали, что при скорости 60–80 м/с возможно бесприжоговое шлифование со скоростью подачи 0,6–1,2 мм/мин. При этом шероховатость поверхности R_a = 0,4–0,5 мкм, волнистость 0,8–1,5 мкм [272]. Режущая способность кругов при рабочей скорости 80 м/с достигает 20–30 мм^3/(с·мм), коэффициент шлифования $K_ш$ равен 30–40 (против 4,0–4,5 мм^3/(с·мм) и $K_ш$ = 5–10 при v = 35 м/с). Определены энергетические затраты при шлифовании со скоростью 80 м/с и скоростью подач 6–10 мм/мин; приведенная мощность составляет 0,5–0,8 кВт на 1 мм высоты круга. Следует отметить, что преимущества высокоскоростного шлифования могут быть реализованы в полной мере только при условии применения специальных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Предварительное экспериментальное исследование процесса шлифования со скоростью 100 м/с показало, что может быть достигнута наработка за период стойкости между правками, равная 20–30 деталям, при обеспечении волнистости в пределах 0,6–0,8 мкм шероховатости R_a = 0,4–0,5 мкм.

Анализ эффективности процесса высокоскоростного шлифования колец подшипников показывает, что при врезном шлифовании машинное время определяется скоростью поперечной подачи, которая связана со скоростью шлифовального круга зависимостью $S_п = v_к^{\alpha}$, где α = 1,8–2.

Зависимость скорости поперечной подачи $S_п$ и машинного времени $t_м$ от скорости круга $v_к$ представлена на рис. 5.24. Физическая основа такой зависимости заключается в уменьшении толщины среза единичным зерном круга и, соответственно, значения силы резания, действующей на зерно, что создает возможность дополнительно "нагрузить" круг путем увеличения подачи.

Исследования показали (табл. 5.11), что при увеличении скорости шлифования с 20 до 120 м/с средняя толщина среза уменьшается в 1,65–2,1 раза, а касательная составляющая силы резания P_z — в 4,1–4,3 раза; при этом соотношение сил P_z/P_y также уменьшается, что свидетельствует об уменьшении потерь на преодоление силы трения. Что касается предельных значений скоростей поперечных подач (в цикле шлифования), при которых компенсация

Таблица 5.10

Номенклатура скоростных абразивных кругов на керамической связке

Геометрические размеры по ГОСТ 2424–83			Абразивный материал		Марка связки	Твердость по ГОСТ 18118–83	Класс точности по ГОСТ 2424–83	Неуравновешенность по ГОСТ 3086–86	Рабочая скорость круга V, м/с
Наружный диаметр D, мм	Высота H, мм	Отношение $\alpha = H/D$, не более	Марка	Зернистость по ГОСТ 3647–80					
32–1060 32–500	6–150 6–63	0,6 0,6	25А; 14А; 91А; 34А; 33А; 45А; 44А	50–16 2–6	К5; К6 К5; К6	М3–СТ3 М3–СТ3	А А	I, II I, II	50 50
32–1060 32–500 32–1060 32–500	6–150 6–63 6–150 6–63	0,6 0,6 0,6 0,6	25А; 45А; 44А; 25А; 24А; 92А; 91А	25–16 12–6 40–16 12–6	К5; К6 К5; К6 К43 К43	СМ1–СТ3 С1–СТ2 СМ1–С2 М3–СМ2	А А А А	I, II I, II I, II I, II	60 60 60 60
35–600	14–50	0,4	25А; 92А*; 91А*	25–8	К43; К43Л	СМ2–С2	А	I	80
350–600	10–30	0,4	25А; 92А**; 91А**; 44А**	25–12	К43; К43Л	СМ1–С2	АА	I	100–120
200–600	10–150	0,6	64С; 63С	40–16	К3	СМ2 и выше	А и Б	I, II	45
200–600	10–150	0,5	64С; 63С	40; 25; 16	К10	СМ2	А	I, II	50
200–600 200–600 200–600	10–150 10–150 10–63	0,5 0,5 0,5	64С; 63С 64С; 63С 64С; 63С	16 40; 25 12–М40	К10 К10 К10	М3–СТ2 М3–СТ2 М3–СТ2	А А А	I, II I, II I, II	60 60 60

* — абразивные круги, упрочненные в зоне отверстия абразивной смесью повышенной прочности.
** — абразивные круги, упрочненные в зоне отверстия материалом специального состава.

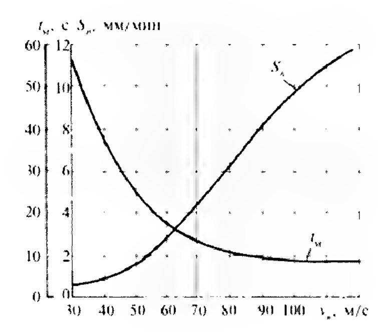


Рис. 5.24. Зависимость скорости поперечной подачи $S_п$ и машинного времени $t_м$ от скорости шлифования $v_к$

износа круга не превышает 0,03–0,04 мм, то с увеличением скорости круга от 30 до 60–80–120 м/с, скорость поперечной подачи увеличивается от 0,6–0,8 до 2,5–3,0; 5–6; 8–12; 10–15 мм/мин соответственно.

Если принять припуск на черновое шлифование равным 0,5 мм и время на чистовое шлифование с выхаживанием равным 6 с (данные соответствуют реальным условиям шлифования), то сокращение машинного времени при переходе от скорости 30 м/с и скорости 60 м/с составит 70 %, от 60 к 80 м/с — 32 %, от 80 к 100 м/с — 18 %, от 100 к 120 м/с — 5,5 %. С учетом того, что производительность шлифовальной операции зависит не от машинного, а от полезного штучного времени обработки $t_{шт}$ (включающего также вспомогательное $t_в$ и подготовительно-заключительное $t_{п.з}$ время), уменьшение штучного времени составит (при $t_в + t_{п.з} = 4$ с) при переходе от скорости 30 м/с к скорости 60 м/с 66 %, от 60 к 80 м/с — 25 %, от 80 к 100 м/с — 13 %, от 199 к 120 м/с — 4 %.

Зависимость $t_{шт}$ и прироста производительности ΔN от $v_к$ приведена на рис. 5.25.

По приведенным данным можно сделать вывод, что оптимальная скорость шлифования находится в диапазоне 80–100 м/с. Очевидна актуальность уменьшения непроизводительных затрат времени: так, при понижении $t_в + t_{п.з}$ до 2,5–3 с прирост производительности при переходе на скорость 80 м/с составит 30–32 %, а на скорость 100 м/с — до 20 %.

Примером эффективного использования высокоскоростного шлифования является опытный автоматический поток производства подшипника 308. Все шлифовальные операции (кроме торцешлифования) осуществляются со скоростью 80 м/с. Схема операций приведена на рис. 5.26 и включает черновое

Таблица 5.11

Влияние скорости шлифования на толщину среза и силы резания

Скорость съема металла $Q_м$, мм³/(мин·мм)	Скорость шлифования $V_ш$, м/с	Толщина среза a_z, мм	Касательная, составляющая силы резания P_Z, Н	Отношение составляющих сил резания P_z/P_y
50	20	2,05	31	0,55
	40	1,65	18	0,45
	80	1,30	10	0,38
	120	1,25	7,4	0,33
200	20	3,40	104	0,50
	40	2,85	59	0,40
	80	2,00	34	0,33
	120	1,65	24	0,29

шлифование полного профиля колец кругами 600 × 30 × 20, чистовое шлифование монтажной поверхности кругами 500 × 25 × 203, шлифование отверстия кругами 35 × 25 × 16, чистовое шлифование дорожек качения кругами 500 × 14 × 203 и 63 × 14 × 20. Указанные круги изготовлены из электрокорунда марок 91А и 24А зернистостью 25–8 и твердостью СМ1–С2. Производительность автоматических линий — 360 колец в час.

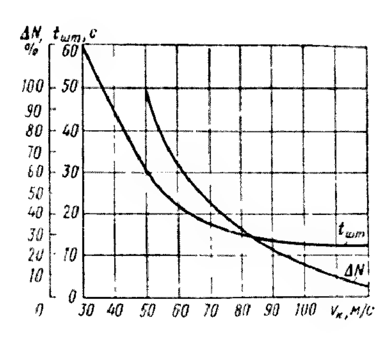


Рис. 5.25. Зависимость штучного времени $t_{шт}$ и прироста производительности ΔN от скорости шлифования $v_к$

В табл. 5.12 приведены данные о промышленных испытаниях высокоскоростных кругов, которые проводились на ряде станкостроительных и других заводов России и других стран СНГ.

Скоростное шлифование за рубежом. Вопросами скоростного шлифования и разработкой инструмента для него активно занимаются во многих странах мира: в США, Германии, Швеции, Японии, Англии, Австрии, Швейцарии, Индии. Созданы специальные лаборатории при институтах, например лаборатория скоростного шлифования при

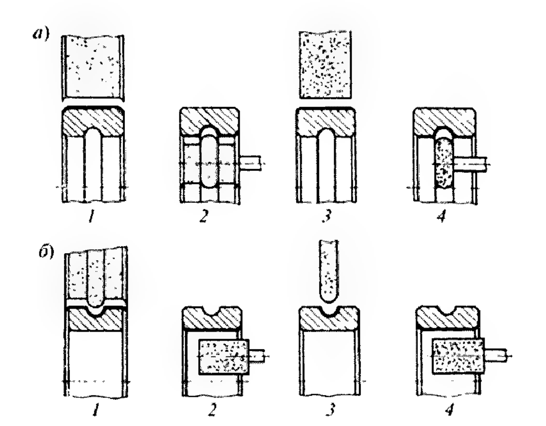


Рис. 5.26. Схема операции высокоскоростного шлифования в опытном автоматическом потоке производства подшипника типа 308:

а — наружное кольцо; *1* — шлифование полного профиля; *2* — внутреннее шлифование полного профиля; *3* — шлифование монтажной поверхности; *4* — внутреннее шлифование желоба; *б* — внутреннее кольцо; *1* — шлифование полного профиля; *2* — черновое шлифование отверстия; *3* — шлифование желоба; *4* — чистовое шлифование отверстия

Таблица 5.12

Результаты испытаний высокоскоростных кругов в промышленности

Наименование операции	Тип, размеры и характеристика круга	Модель станка	Припуск на обработку, мм	Скорость				Эксплуатационные показатели		
				круга, м/с	детали, м/мин	поперечной подачи, мм/мин		Стойкостная наработка деталей	Ресурс круга, число обработанных деталей	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм
						черновой	чистовой			
Шлифование полного наружного профиля внутренних колец подшипника 308 на автоматической линии	1 600 × 30 × 203 91А25 СI К43	Круглошлифовальный автомат 6С216-24	1,2 1,5	80	80 100	13,0		1	3500	1,25
Шлифование полного внутреннего профиля наружных колец подшипника 308 на автоматической линии	1 65 × 30 × 20 91А16СМ2 7К43	Внутришлифовальный автомат 6С223-1Н	1,2	80	80	5,0	2,0	1	90	1,25
Чистовое шлифование отверстий внутренних колец подшипника 308 на автоматической линии	1 35 × 20 × 10 91А16СМ1 7К34	Внутришлифовальный автомат 6С221-1Н	0,3	80	80	5,0	0,6	1	100	0,60
Чистовое шлифование дорожек качения внутренних колец подшипника 308 на автоматической линии	1 500 × 15 × 203 24А12СМ1–СМ2 8К43Л	Круглошлифовальный автомат 347ГВ4-1Н	0,25	80	80–100	6,0	2,0	5	5000	0,32
Шлифование дорожек качения внутренних колец роликовых конических подшипников	1 500 × 16 × 127 24А12СМ28К15	Круглошлифовальный автомат 3474В1	0,40	100	100	5,0	1,5	20	3000	0,50
Получистовое шлифование торцов, радиусов и диаметров четырех шатунных шеек коленчатого вала двигателя автомобиля КамАЗ	ППС1060 × 67,2 × 305 24А32СМ2 7К5	Специальный шлифовальный станок Landis (США)	Диаметра – 1,15, торца 0,5	60	35	От 0,4	0,003	1 (шейка)	590	1,25

Чистовое шлифование четырех шатунных шеек коленчатого вала двигателя автомобиля КамАЗ	ППС1060 × 67,5 × 305 24А25СМ17К5	То же	0,65	60	17,5	0,4	0,03	1 (шейка)	700	0,52
Шлифование наружного диаметра и фаски кольца манжеты ступицы заднего моста автомобиля КамАЗ	ФП 600 × 28 × 203 24А16С1 7К5	Круглошлифовальный станок Famir (Италия)	0,3	60	97	0,3	–	5	–	Диаметр 0,32; фаска – 1,25
Плоское шлифование поверхностей деталей	1 250 × 32 × 76 1 450 × 63 × 203 1 400 × 40 × 203 24А-91, А25–40, М3–СМ2 К5, К43	Плоскошлифовальный станок с прямоугольным и круговым столом 3Е 711ИВ, 3Е 722 В, 3Е 740 В	0,5 1,2 0,5 1,2 0,5–1,2	35–70 35 70 35–70	15–45 15–45 15–45	2,5 80 4,0 20 2,5 12	2,0–80 4,0–20 2,5 12	Повышение		–
Шлифование наружного диаметра конического метчика	1 350 × 25 × 127 64С М40 С19 К10	Резьбошлифовальный станок Linder (Германия)	0,8	44	0,94		0,02	30	–	0,63
Шлифование резьбы	1 350 × 25 × 127 64С М40 С1 9 К10	То же	0,8	44	0,94		0,02	75	–	0,63
Чистовое круглое бесцентровое врезное шлифование поясков гильзы цилиндров	1 600 × 35 × 305 64С25СМ1 7 К10, 1 600 × 20 × 305 64С25М3 7 К10	Cincinnati milucron, модель 2-250 (США)	0,12–0,16	45	0,04 на ход	–	1,2	40	45000	1,25
Шлифование наружной поверхности режущей части зенкера подрезного	1 600 × 63 × 305 64С25,40С2–СТ1 6К10	Круглошлифовальный станок модели 3М151	0,8	50	200 об/мин		0,02	500	50000	0,63

Техническом институте в Ганновере, на машиностроительном факультете университета в Ливерпуле, в Технологическом институте г. Массачусетса и др.

Проводятся исследования по изучению напряженного состояния кругов, повышению их прочности, разрабатываются конструкции скоростных кругов и нормы безопасной работы, изучаются процессы скоростного шлифования [274].

По зарубежным источникам можно сделать следующие выводы.

Скоростной абразивный инструмент на керамической связке зернистостью 40—10 используется для продукционного шлифования (плоского, круглого внутреннего и наружного, бесцентрового и т. д.).

Запас прочности скоростного инструмента должен быть не менее $3\left(\frac{v_{исп}}{v_{раб}}\right)^2$ (немецкие фирмы).

Размер отверстия должен быть уменьшен. Так, Федерация европейских производителей установила правила: внутренний диаметр кругов с $v_{раб}$ = 60 м/с должен быть не более 1/2 наружного диаметра, при работе с $v_р$ = 80 м/с — не более 1/3. Фирмы Tyrolit (Австрия) для автоматического режима наружного врезного шлифования дорожек качения шарикоподшипников выпускает круги для работы со скоростью 80 м/с с размером отверстия 198 вместо 305 мм (круги 600 × 30 × 0,33*D*).

Повышение прочности кругов для $v_{раб}$ = 60—80 м/с достигается разработкой новых керамических связок и структуры кругов, а также путем уменьшения зернистости и повышения твердости вокруг внутреннего диаметра круга. Таким образом, различные исследователи достигают предельных напряжений при растяжении инструмента из нормального электрокорунда твердостью К/СМ1 27,5—38,0 МПа; для зернистости 60/25 и зернистости 10 — 29,5—36,5 МПа; для инструмента из белого электрокорунда — 30,4—42,9 и 38,0—48,5 МПа соответственно.

Для работы со скоростью выше 100 м/с зарубежные фирмы, так же как и отечественные, изменяют конструкцию круга, в том числе изготавливают и сегментные круги. На международных выставках 2001—2003 годов демонстрировались круги для работы со скоростью до 250 м/с. Фирма Norton (Великобритания) сообщает о разработке кругов серии Optimos, предназначенных для работы со скоростью до 180 м/с, имеющих алюминиевый корпус и рабочий слой, состоящий из отдельных сегментов. Преимущество этих кругов перед кругами из кубического нитрида бора состоит в том, что толщина рабочего слоя может достигать до 50 мм и их можно править простым известным способом.

Все исследования по испытанию скоростных кругов свидетельствуют о преимуществах скоростного шлифования при скорости 60 м/с и выше.

При этом следует отметить, что освоение скоростного шлифования в металлообработке идет медленно. Причиной этого являются высокие требования к технике безопасности и, соответственно, высокая стоимость защитных устройств, которые делают скоростное шлифование, за редким исключением, экономически невыгодным или практически недоступным.

В связи с этим дальнейшее расширение применения скоростного шлифования кругами на керамической связке и более полная реализация этого мето-

да ставятся в зависимость от успешного решения задачи создания надежных и экономически выгодных защитных устройств.

Работы в этом направлении ведет MTIRA, разрабатывающая ограждения для защиты от разрыва кругов диаметром до 750 мм и высотой до 100 мм.

Изготовителями кругов для скоростного шлифования являются фирмы Norton (США), МСО и ФАС, Carborundum Atlantik (Германия), Slip Naxoc (Швеция), Tyrolit (Австрия), Universal Grinding Well Co. Ltd. (Англия). Отдельные типы и характеристики зарубежных кругов представлены в табл. 5.13.

На рис. 5.27 представлен круг фирмы Norton-Corsika (США) 610 × 20/40 × 203, состоящий из режущей и упрочняющей частей. Зона отверстия круга пропитана упрочняющим составом, и круг имеет ступицу — утолщение. Центральная часть

Таблица 5.13

Типы и характеристики скоростных кругов некоторых зарубежных фирм

Тип и размер	Характеристика кругов	Рабочая скорость, м/с	Фирма-изготовитель
1 600 × 28 × 203	38A 80 M7 V / 24A 16 C1 7 K5	60	Norton (Италия)
ППС 1060 × 67,5 × 203	38A 60 K V / 24A 25 CM1 7 K5	60	Carborundum
УП 750 × 20 × 305	38A 86 K8 VBE / 24A 16 C18 K5	60	Norton
1 600 × 28,6 × 304,8	A 60 L 5 VBE / 14A 25 C15 K5	60	Norton
УП 400 × 15 × 127	AA 60 M 7 5 / 25A 25 C17 K5	60	–
1 750 × 40 × 305	38F 60 R8 BE / 25A 25 CM2 7 K5	60	Cuistima (Италия)
1 757 × 60 × 305	AA 50 N 6V / 24A 32 CM2 6 K5	60	–
1 400 × 25 × 203	AA 220 M 9V / 24A C1 9 K5	60	–
УП 750 × 40 × 305 УП 600 × 55 × 305 (комплексный)	AA 40 J 6 V10 / 24A 40 M3-CM1 6–7 K5 24A 25 M3-CM1 6–7 K5	60	–
1 400 × 25 × 203	AA 220 M 9V / 24A 5 C1 9 K5	68	MSO (Германия)
1 500 × 15 × 152,4	E 100 L / 33A 12 CM2 2K	125	Tyrolit (Австрия)
1 610 × 20/40 × 203	32 A 100 P / 44A 12 CT1 K	125	Norton-Corsika
1 500 × 10 × 152,3	32 F 100 L / 44A 12 CM2 K	—	-"-

Примечание. В числителе — характеристика зарубежного круга, в знаменателе — отечественного производства.

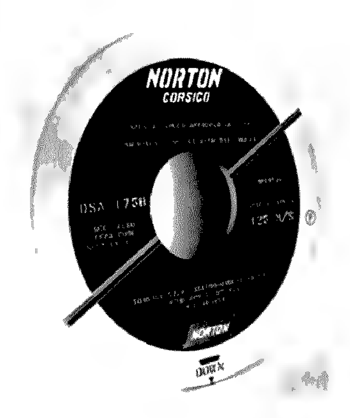


Рис. 5.27. Шлифовальный круг 1 610 × 20/40 × 203 32 100 NVBE-X113-C27 фирмы Norton-Corsika

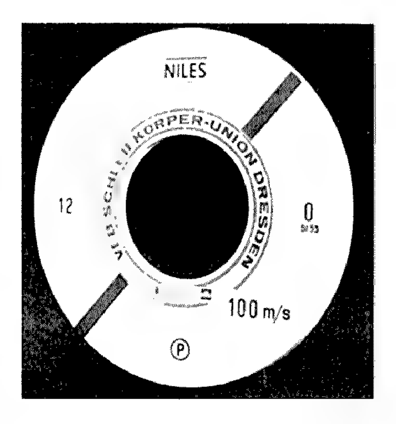


Рис. 5.28. Шлифовальный круг фирмы NILES (Германия) из электрокорунда белого для работы со скоростью 100 м/с

круга состоит из белого электрокорунда, пропитанного эпоксидной смолой, и наружного рабочего слоя из монокорунда. Круг предназначен для работы со скоростью 125 м/с.

На рис. 5.28 представлен круг, изготовленный из белого электрокорунда фирмы Niles (Германия) для работы со скоростью 100 м/с.

5.2. Высокопористый абразивный инструмент на керамической связке

К высокопористому абразивному инструменту относят инструмент, в котором по специальной технологии создают поры, размеры которых могут превышать размеры абразивного зерна в два-шесть раз и колебаться от 215 до 3000 мкм.

Особенностями такого инструмента являются: более открытая, чем у обычного инструмента, структура; большая пористость (48–70 %); меньший объемный вес; весьма мягкие и мягкие степени твердости ВМ1, ВМ2, М1, М2, М3 (F, G, H, I, J); пониженная механическая прочность сырых, высушенных заготовок и обожженного инструмента.

Высокопористые абразивные круги на керамической связке производят все ведущие фирмы мира: Unikorn (Англия), Tyrolit (Австрия), Elbe и Haunet Blüm (Германия), Norton (Франция), Winterthur (Швейцария), Nortitake (Япония), Carborundum-Elektrite (Чехия), Simat (Италия), Norton (США), Crindwell Norton (Индия). Высокопористый абразивный инструмент выпускается из всех видов электрокорундовых материалов и карбида кремния зеленого различных зернистостей.

Обзор патентной литературы показывает, что технология изготовления высокопористого инструмента отличается сложностью и многостадийностью,

а в качестве порообразователя применяют различные материалы: органические (полистиролы, синтетические смолы), неорганические (глины, пеностекла, силикатные материалы, кокс, сферокорунд, графит, стеклянные шарики, пробка, сахарный тростник и т. д.), используют газообразные вещества, а некоторые зарубежные фирмы — нафталин [275–283].

Способы получения высокопористой структуры керамического изделия различны: пеновый, газовый, литье, способ выгорающих добавок и др. Пеновый способ производства сложен, требует специального оборудования; процесс изготовления сырца и сушки трудоемок. При газовом способе обязательным условием является введение в шихту стабилизирующих добавок, укрепляющих и фиксирующих структуру массы (например, гипса), но зачастую приводящих к снижению прочности обожженных образцов. Способом литья можно изготовить пористое керамическое изделие высокого качества, но его сушка требует длительного времени, а весь технологический процесс малопроизводителен.

В отечественной практике в производстве высокопористого абразивного инструмента при полусухом и пластичном формовании, а также при литье применяется метод выгорающих добавок как наиболее простой, дешевый и легко осуществимый. Однако его недостатком является сложность равномерного распределения пор при сохранении формы и механической прочности изделия [284–287], поэтому все исследования в этой области связаны с поиском рациональной формы порообразующих и улучшением их технологических свойств. Так, при использовании в качестве выгорающих добавок органических материалов (опилок, кокса, торфа и т. д.) поры получаются неправильной формы, их внутренние стенки шероховаты. При нагревании материалов с пористостью такого характера на границах пор наблюдается значительная концентрация напряжений, и кроме того, эти добавки не обеспечивают мелкой равномерной пористости [288].

Наиболее рациональной формой частиц выгорающих добавок является правильный многогранник [289], но так как на практике получить правильные многогранники невозможно, то наиболее приемлемой формой выгорающих добавок является сферическая. Применяя выгорающие добавки с зернами сферической формы, можно получить высокую пористость инструмента, а подбирая размер сфер, можно регулировать общий объем и величину макропор.

На основе результатов исследования, проведенного группой авторов ВНИИАШа, были сформулированы следующие требования к порообразующим наполнителям:

шарообразная форма частиц наполнителя;

достаточная прочность частиц на сжатие, позволяющая им не разрушаться при прессовании формовочной смеси;

низкая зольность (не более 0,8 %);

низкая температура воспламенения (не более 500 °С);

отсутствие выделения токсичных газов при сгорании;

легкая разделимость на фракции при рассеве.

Виды и характеристика порообразующих наполнителей. Первые опыты по изготовлению кругов с применением в качестве выгорающей добавки сополимера марки МСН, удовлетворяющего почти всем вышеперечисленным

требованиям, но обладающим при выгорании неприятным запахом, были проведены Г.П. Горфункелем. В продуктах его горения был обнаружен акрилонитрил (ПДК 0,5 г/м^3), что требовало создания специальных воздухоочистительных установок. В связи с этим высокопористые инструменты в промышленных масштабах не выпускались. И только дальнейшие исследования привели авторов как к разработке состава порообразователя, так и к оформлению технологии его изготовления (бисер полистирола марки ПСС$_{сбА}$, перлит расклассифицированный марки П, фруктовые косточки марки КФ) [290–293].

Бисер полистирола, разработанный ОНПО "Пластполимер" (ТУ 96-05-05-100–82) марки ПСС$_{сбА}$ (для абразивной промышленности), представляет собой продукт полимеризации стирола, выпускается в виде твердых сферических частиц и является выгорающей добавкой в формовочных смесях. В состоянии поставки не оказывает вредного влияния на организм человека. Загорается при контакте с огнем.

Основные технические требования на ПСС$_{сбА}$

Внешний вид бесцветные частицы сферической формы (бисер) без посторонних включений

Содержание влаги, %, не более	0,5
Содержание остаточного стирола, %, не более	0,2
Гранулометрический состав:	
Содержание фракций, остающихся на сите 1,6 мм, %, не более	2
Содержание фракций, прошедших через сито 0,2 мм, %, не более	10

Состав фракции после рассева, мкм

Первая фракция 125	−1600...+1000
Вторая фракция 80	−1000...+630
Третья фракция 40	−630...+315
Четвертая фракция 20	−315...+200
Содержание основной фракции, %, не менее	60

Бисер полистирола технологичен, не комкуется и не слеживается при смешивании с другими компонентами абразивной смеси, а его правильная форма пор способствует снижению напряжений в межпоровых перегородках абразивного черепка и сохранению его прочности при высоком объемном содержании пор (до 60 %).

Однако его применение носит ограниченный характер, поскольку при обжиге абразивных кругов сгорание порообразователя при температуре 300–400 °С связано с выделением токсичных продуктов, имеющих ограничение по пределам допустимых концентраций (ПДК), мг/м^3: стирол — 5, бензол — 5, толуол — 50 и ряд других веществ.

Перлит Арагацкого месторождения является продуктом минерального происхождения и не имеет ограничений в технологии производства высокопористого инструмента.

Для использования в качестве порообразователя перлит должен быть раздроблен и расклассифицирован по фракциям. Схема переработки перлита представлена на рис. 5.29.

Исходный продукт поступает в щековую дробилку и дробится в открытом цикле до кусков размером 35 мм, затем перлит поступает в валковую дробилку, где дробится до частиц 8 мм. Этот продукт поступает во вторую валковую дробилку, работающую в замкнутом цикле с грохотом, с которого продукт

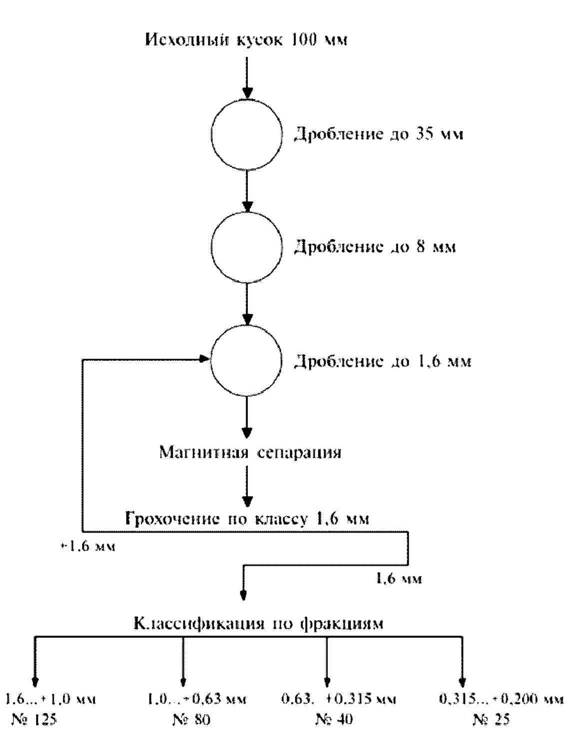


Рис. 5.29. Технологическая схема переработки перлита

плюс 1,6 мм возвращается на додрабливание, а продукт минус 1,6 мм подвергается грохочению и рассеву по фракциям 125, 80, 40 и 25. При необходимости продукт перед рассевом подвергается магнитной сепарации.

Для осуществления процесса используют следующее оборудование:

щековую дробилку 250 × 400 типа СИД-31;
дробилку двухвалковую 600 × 400 ДВГ-3М;
дробилку двухвалковую 400 × 250 ДВГ-2М;
плоскокачающийся грохот шестидечный для рассева типа ГР-51;
грохот для контрольного грохочения в замкнутом цикле с валками типа ГИЛ-32.

Выход товарной продукции — примерно 70 %.

Состав фракции после рассева, мкм

Первая фракция 125	−1600...+1000
Вторая фракция 80	−1000...+630
Третья фракция 40	−630...+315
Четвертая фракция 25	−315...+200
Пятая фракция 16	−200...+160
Шестая фракция 12	−160...+100

Содержание основной фракции должно быть не менее 44 %.

Физическая сущность применения расклассифицированного перлита в производстве пористой структуры абразивного круга заключается в том, что в процессе обжига частицы перлита вспучиваются, из них удаляется химически связанная вода, и образуется пора. Частицы расплавленного перлита вступают во взаимодействие с компонентами керамической связки и абразивным зерном, упрочняя связь абразивного зерна в объеме пор. Размер пор в круге зависит от номера применяемой фракции перлита. Однако при этом расплавление перлита в связке приводит к увеличению твердости высокопористого круга, что не позволяет с применением этого наполнителя изготавливать инструмент мягких твердостей ВМ1, ВМ2, М1 (ЗИ 28, 29, 30, 31, 32), а также высокопористый инструмент из карбида кремния. В последнем применение перлита приводит к браку — "зауглероживанию" за счет увеличения количества оксида натрия в связке, влияющего на окисление карбида кремния [293].

Косточки марки КФ. Исходным материалом для получения порообразующего КФ является скорлупа фруктовых косточек, получаемая при переработке фруктов (абрикосов, персиков, вишен) [294]. Косточки по своей структуре относятся к вязким материалам и вследствие этого трудно поддаются дроблению и классификации. В связи с этим для их дробления применяют конусно-инерционные дробилки или специально сконструированные измельчители, например дробилку центробежную марки ЦУД-50 (разработка ВолжскВНИИАШа), в которой дробление и измельчение косточек происходит от их удара о била дробилки. Измельченный продукт поступает по эластичной течке из дробилки на грохот типа ГР13 и рассеивается на фракции по схеме, представленной на рис. 5.30.

Производительность грохочения резко падает с уменьшением номера фракции и составляет: фракции № 125 — 1100 кг/ч, № 80 — 660 кг/ч, № 40 — 120 кг/ч. Фракцию № 125 и мельче на плоскокачающихся грохотах практически получить невозможно. После грохочения КФ подвергаются электромагнитной сепарации.

Косточки КФ выпускаются по ТУ 0000-22-05748371–97 "Порообразующий наполнитель марки КФ для изготовления пористого инструмента".

Технические требования к КФ: влажность — не более 1 %, содержание магнитной фракции — не более 0,01 %, зерновой состав должен соответствовать требованиям, представленным в табл. 5.14.

В процессе обжига абразивных заготовок при температуре 350–380 °С из КФ происходит выделение углерода и оксида углерода в небольших количествах (ввиду содержания в КФ кислот жирного ряда: миристеновой C_{14} — 5,3 % и стеариновой C_{18} — 14,3 %), т. е. тех же газов, которые выделяются при выгорании декстрина и горении газа, а при температуре 500–550 °С КФ полностью выгорают. При обжиге высокопористого инструмента с порообразователем КФ должна работать приточно-вытяжная вентиляция.

Сферы корунда, используемые авторами [295, 296] для изготовления высокопористого инструмента, представляют собой полые корундовые шарики размером 60–130 мкм.

Основная часть сфер (75–80 %) — бесцветные прозрачные шарики с толщиной стенок 1–1,5 мкм. Часть сфер представлена корундовыми шариками молочно-белого цвета с толщиной стенок 3–5 мкм, и лишь в единичных случаях

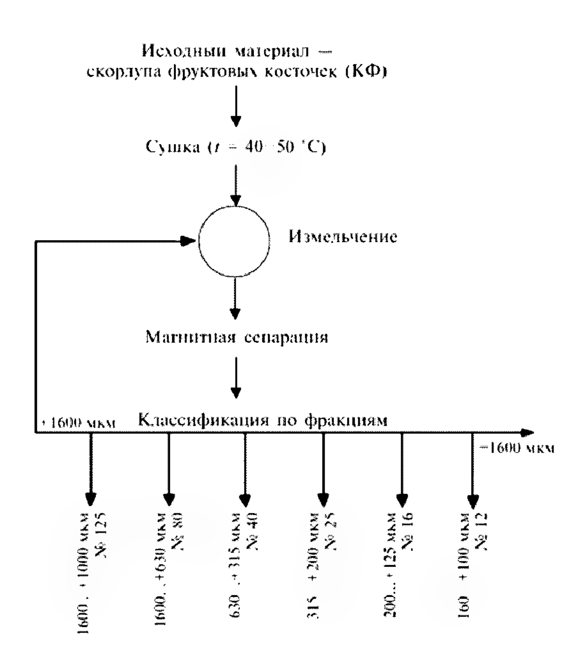


Рис. 5.30. Технологическая схема переработки скорлупы фруктовых косточек (КФ)

Таблица 5.14

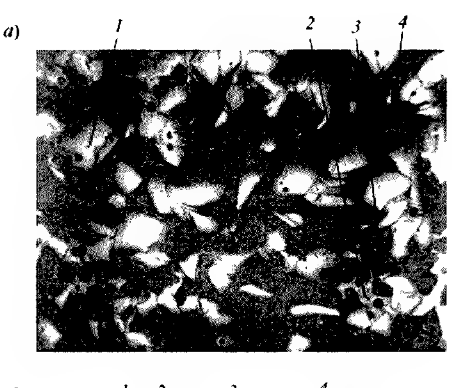
Зерновой состав порообразующего наполнителя КФ

Условное обозначение зернистости	Размер стороны ячейки сита в свету, при котором			
	Предельная фракция, мкм (проходит через сито 100 %)	Крупная фракция, мкм (задерживается на сите не более 20 %)	Комплексная фракция, мкм (задерживается на сите не менее 70 %)	Мелкая фракция, мкм (проходит через сито не более 10 %)
125	2500	1600	1250, 1000, 800	800
80	1600	1000	800, 630, 500	500
40	800	500	400, 315, 250	250
25	500	315	250, 200, 160	160
16	315	200	160, 125, 100	100
12	200	160	125, 100, 80	80

стенки сфер образованы закристаллизовавшейся очень пористой корочкой Al_2O_3 толщиной 20–30 мкм, зерна корунда в стенках прозрачных сфер пластинчатой формы дендритного строения. Абразивная способность сфер равна 0,0430 г. На рис. 5.31 представлена микроструктура высокопористого круга (рецепт круга: зерно 25А — 100 вес. ч., корундовые микросферы — 5 вес. ч., связка К5 — 20,7 вес. ч., жидкое стекло — 7,5 вес. ч., сухой декстрин — 3 вес. ч., вода — 2,5 вес. ч.). Соотношение структурных составляющих в круге: зерно — 32±4 %; связка — 12,5±1 %; структурные поры — 48,5±4 %; сферы — 7,0±1 %; общая пористость — 55,5 %.

Как видно из рис. 5.31, сферы распределены в прослойках связки, отчего размер прослоек между зернами в среднем больше, чем в обычном круге такой же зернистости. Сферы полые, неразрушенные и распределены в связке неравномерно. Ширина прослоек, не содержащих сфер, составляет 30–50 мкм, ширина прослоек со сферами — от 70–250 до 300 мкм. Структурные поры крупные

а)



б)

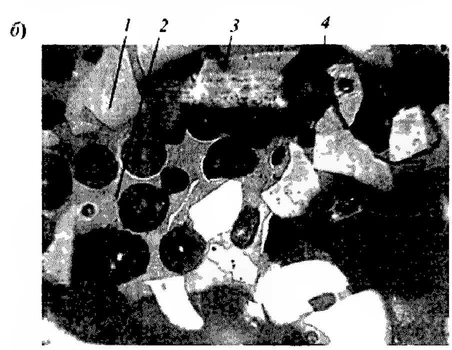


Рис. 5.31. Микроструктура высокопористого круга:

а — увеличение ×30 со сферами; *б* — увеличение ×100 прослойка связки со сферами; *1* — зерно; *2* — связка; *3* — сферы; *4* — поры

(150–450 мкм), неправильной формы, сообщающиеся между собой. Присутствие сфер в связке увеличивает общую пористость при шлифовании (сферы разрушаются), инструмент работает "мягко".

Механическая прочность высокопористых кругов и методика ее определения. При использовании порообразующих наполнителей всех видов наблюдается тенденция к снижению прочностных показателей сырого, высушенного и обожженного инструмента по сравнению с прочностными показателями традиционного инструмента из того же материала, особенно твердости М2 и ниже. Для исследования прочностных свойств высокопористого инструмента применяли разработанную ранее методику [258].

Результаты исследования позволили установить:

прочность высокопористого инструмента ниже, чем инструмента обычной пористости, и зависит от его состава: прочнее тот состав, который имеет размер зерна, соизмеримый с размерами порообразующего, увеличение объема пор в этом случае практически не снижает прочности;

при увеличении отношения размеров порообразователя к размеру зерна наблюдается значительное влияние увеличения объема пор на снижение прочности;

влияние размера зерна на прочность высокопористого инструмента не замечено;

прочность круга с наполнителем $ПСС_{сбА}$ примерно на 20 % выше прочности круга с другими порообразующими — перлитом и фруктовыми косточками;

при объеме порообразующего выше 10 % соотношение размера порообразующего к размеру зерна не должно быть выше чем в два раза.

Полученные зависимости и разработанная рецептура позволили рассчитать наибольшие напряжения, возникающие на поверхности посадочного отверстия круга, по формуле

$$\sigma_t = \frac{(3+\mu)\gamma\omega^2}{4g}\left(1 + \frac{1-\mu}{3+\mu}\alpha^2\right),$$

где γ — плотность материала; ω — частота вращения; g — ускорение свободного падения; μ — коэффициент Пуассона; α — отношение радиуса отверстия к радиусу круга.

Анализ приведенной зависимости показывает, что уровень наибольших напряжений, отвечающий за безопасную работу круга, в целом зависит от квадрата рабочей скорости и плотности материала круга. Так как плотность круга с высокопористой структурой невысока, то и уровень напряжений, возникающих при вращении круга, понижается по сравнению с обычным кругом [258].

Сравнение расчетного уровня напряжений с экспериментальными значениями образцов высокопористой структуры свидетельствует о том, что прочность высокопористых шлифовальных кругов достаточна для работы со скоростью до 35–40 м/с.

Повышение температуры обжига инструмента из белого электрокорунда на связках К5 и К43 до 1250–1280 °С позволяет выпускать инструмент с рабочей скоростью $v_р$ = 50–60 м/с (в зависимости от твердости и структуры).

Особенности высокопористого инструмента и его структуры. Основной особенностью высокопористого инструмента является введение в состав рецептуры высокопористого круга порообразующего наполнителя, объем которого определяет общую пористость инструмента. Размер пор зависит от размера (зернистости) порообразующего наполнителя. Предельное количество вводимого в круг наполнителя (без разрушения круга в процессе обжига) зависит от марки наполнителя и абразивного материала, зернистости и объема вводимого наполнителя. В табл. 5.15 даны рациональные соотношения между наполнителем и абразивным материалом в зависимости от их марок и зернистостей [290].

Структура (объемное содержание абразивного зерна в процентах) может быть различной, но, как правило, высокопористый инструмент изготавливается более высокой структуры. Твердость высокопористых кругов регулируется изменением количества связки при постоянном объеме зерна (структуре) и порообразующего наполнителя. Пример рецептур с применением различных марок порообразующих наполнителей приведен в табл. 5.16.

На рис. 5.32–5.34 представлена макро- и микроструктура высокопористого инструмента.

Особенности технологии изготовления высокопористых кругов. С учетом введения в формовочную массу высокопористых кругов порообразующего наполнителя и достаточно низкой механической прочности прессованных заготовок технология изготовления высокопористого инструмента отличается рядом особенностей, основными из которых являются:

приготовление формовочных смесей осуществляется в следующем порядке: абразивное зерно + порообразующий наполнитель → увлажнитель → связка + сухой декстрин; влажность формовочных смесей — от 3 до 4,5 %;

в качестве увлажнителя при использовании порообразующего наполнителя марок $ПСС_{сбА}$ и П применяется жидкий силикат, а при использовании

Таблица 5.15

Зернистость порообразующего наполнителя и его содержание в круге в зависимости от зернистости шлифматериалов и наполнителя

Марка порообразующего наполнителя	Марка абразивного материала	Зернистость по ГОСТ	Номер фракции порообразователя	Количество вводимого порообразователя, об. %	Структура абразивного круга	Твердость	
						по ГОСТ 18118-79	по ГОСТ 25961-83 (ЗИ)
$ПСС_{сбА}$	25А	50-6	16-125	10-30	7-1	ВМ1-СТ3	29-49
	91А	50-6	16-125	10-30	7-1	ВМ1-СТ3	29-49
	14А	50-6	16-125	10-30	7-1	ВМ1-СТ3	29-49
	63С	50-6	16-125	10-30	7-1	М2-СМ2	–
П	24А	50-10	40-125	10-20	8-12	М1-СТ3	35-49
	91А	50-10	40-125	10-20	8-12		35-49
	14А	50-10	40-125	10-20	8-12		35-49
КФ	24А	50-6	16-125	10-20	7-15	ВМ1-СТ2	29-49
	91А	50-6	16-125	10-20	7-15	ВМ1-СТ2	29-49
	14А	50-6	16-125	10-20	7-15	ВМ1-СТ2	29-49
	63С	М7	16-125	10-20	7-15	М2-СМ2	–

Таблица 5.16

Примеры рецептур для изготовления высокопористого инструмента

Наименование компонента	С порообразующим наполнителем ПСС$_{бА}$ 40								С порообразующим наполнителем П40		
	Объем наполнителя 10 %				Объем наполнителя 15 %				Объем наполнителя 20 %		
	Твердость по ГОСТ 18118-79										
	М2	М3	СМ1	СМ2	М2	М3	СМ1	СМ2	М3	СМ1	СМ2
Зерно 25А40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Связка К5	7,3	8,6	9,5	10,5	7,5	9,3	11,0	12,6	4,0	4,5	6,5
Наполнитель	6,0	6,0	6,0	6,0	9,8	9,8	9,8	9,8	11,0	11,0	11,0
Жидкое стекло	2,6	2,9	–	3,0	3,5	3,9	4,5	4,9	2,7	2,9	3,1
Сухой декстрин	–	1,6	1,4	1,2	2,0	1,5	1,2	1,0	1,5	1,5	1,0
Вода	0,9	1,0	1,1	1,2	0,9	1,0	1,1	1,2	–	–	–
Структура	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	10,0	10,0	10,0
Объемный вес, г/см^3	2,25	2,28	2,30	2,32	2,14	2,17	2,21	2,25	1,98	1,99	2,02
С порообразующим КФ 40 (объем наполнителя 10 %)											
	Звуковые индексы по ГОСТ Р 52710–2007										
	31–33	34 35	35–36	36–37	45–47	47–49					
Зерно 25А10	100	100	100	100	100	100					
Связка К5	7,5	8,5	10,0	12,0	18,0	19,5					
Наполнитель КФ 40	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0					
Раствор декстрина	3,5	3,5	3,6	3,7	4,2	4,4					
Сухой декстрин	1,5	1,8	1,6	1,8	1,5	1,3					
Структура	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0					
Объемный вес, г/см^3	1,96	1,99	2,01	2,05	2,1	2,18					

наполнителя КФ — 40—50 %-ный раствор декстрина или раствор лигносульфоната;

формование заготовок производится с применением гидроплиты или таких средств укладки формовочных смесей в пресс-форму, которые обеспечивают равноплотность прессованных заготовок во всем их объеме;

сушка заготовок производится обязательно на формовочных плитах (ввиду их низкой механической прочности);

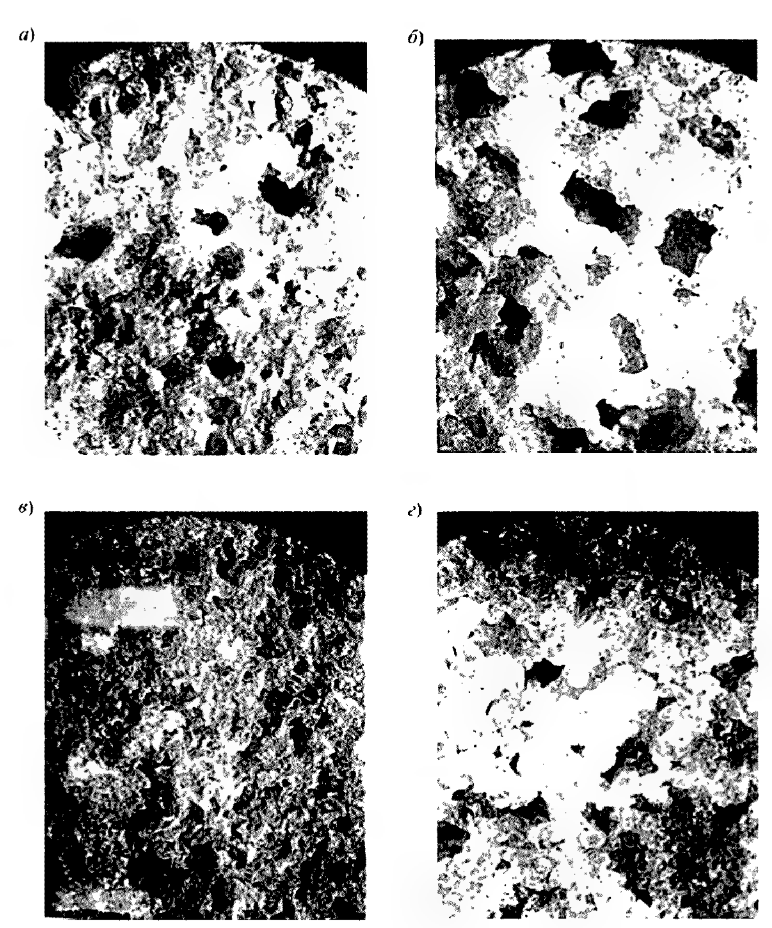


Рис. 5.32. Микроструктура образцов, увеличение ×25:
а — 25А25 наполнитель П-80; *б* — 25А25 наполнитель КФ-80;
в — 25А25 наполнитель П-40; *г* — 25А25 наполнитель КФ-40

для изготовления инструмента из электрокорундовых материалов применяются связки К5, К20, К15, К12, а также К153 и К43 (для кругов, работающих при скорости выше 35 м/с). Для изготовления инструмента из карбида кремния целесообразно применение связки К10, связка К3 применяется ограниченно, так как не обеспечивает работу инструмента с $V_р$ = 35 м/с;

масса высокопористых кругов, как правило, ниже массы обычного инструмента на керамической связке на 20–30 %;

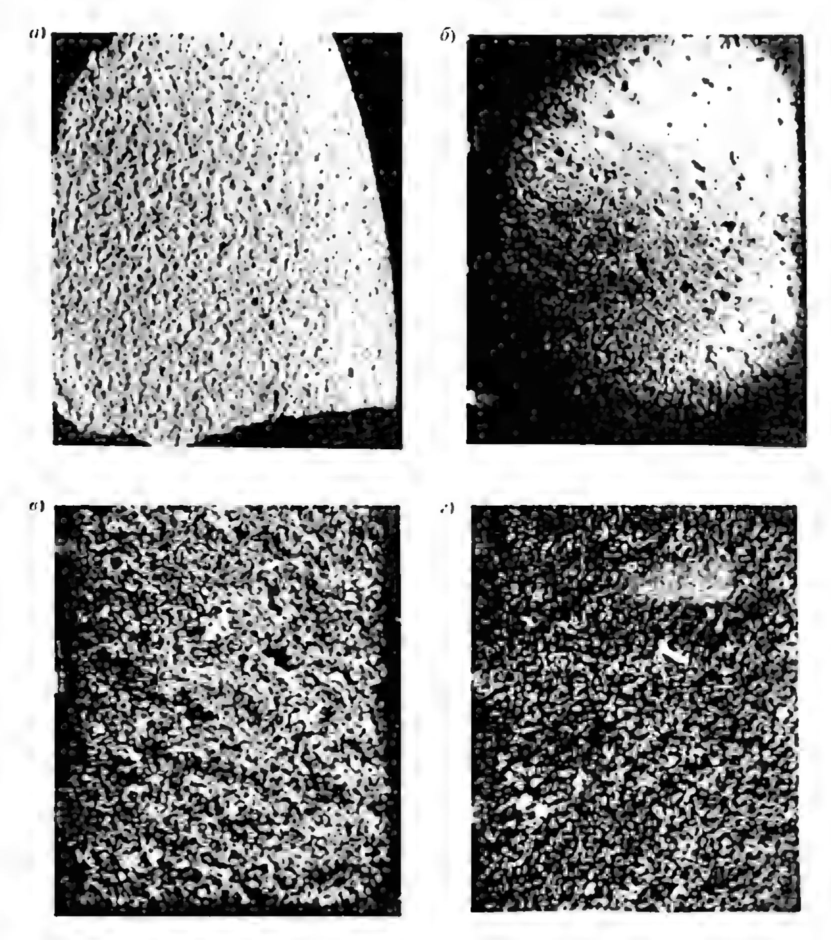


Рис. 5.33. Макроструктура образцов, увеличение ×5:
а – 24А10 ВМ2 10 КФ40, *б* – 33А40 М3 10 П40, *в* – 14А40 М1 10 ПСС, *г* – 64С40 М2 10 КФ40

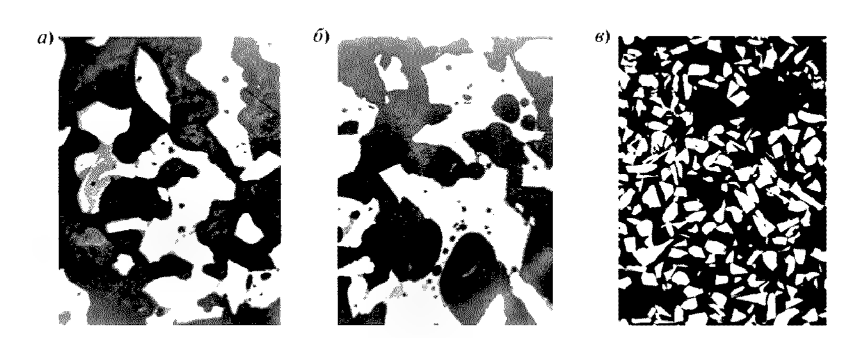


Рис. 5.34. Микроструктура образцов с различными порообразующими (увеличение ×35):
а — 25А40П40, *б* — 25А40КФ40, *в* — 63С25КФ40

механическая обработка высокопористых кругов должна производиться по классу точности А или АА;

изготовление высокопористого инструмента осуществляется как методом прессования (структурой до 13,5), так и методом литья (структурой более 13,5).

Проверку качества инструмента (твердости) целесообразнее осуществлять по значению ЗИ (более оптимальная корреляция с эксплуатационными показателями процесса шлифования).

Эксплуатационные показатели высокопористого инструмента. Высокопористые круги по сравнению с традиционными характеризуются:

повышенной абразивной способностью;

меньшим тепловыделением в процессе резания;

меньшей энергоемкостью в процессе резания.

При резании высокопористым кругом формируется тонкая и длинная стружка, подобная той, которая образуется при использовании кругов с пластинчатой (удлиненной) формой зерна. В этом случае уменьшение размеров зерна приводит к увеличению количества режущих кромок и более эффективному съему металла. Большие поры круга облегчают снятие, размещение и выход стружки, что также способствует повышению его режущей способности и увеличению периода стойкости.

Наряду с этим большие поры облегчают подвод воздуха и СОЖ в зону резания и способствуют эффективному охлаждению обрабатываемой поверхности. Это особенно ценно при обработке материалов с низкой теплопроводностью, при формообразовании поверхностей сложной конфигурации, когда подвод СОЖ в зону резания проблематичен, а также при обработке с большой площадью контакта инструмента и детали, как, например, при плоском шлифовании (периферией, торцом круга).

Вследствие меньшей массы (на 20—30 %) высокопористых кругов по сравнению с кругами нормальной структуры они развивают меньшие центробежные силы, и потери энергии на трение в подшипниках шпинделя снижаются.

Уменьшение поверхности трения с обрабатываемой деталью у высокопористых кругов приводит к снижению температуры поверхностного слоя ме-

талла при шлифовании в 1,5–1,7 раза. Это преимущество высокопористых кругов является весьма важным, так как позволяет осуществить бесприжоговое шлифование труднообрабатываемых сталей и сплавов: быстрорежущих, магнитных и др. Комплексная оценка эксплуатационных свойств обычных и высокопористых кругов с помощью показателя $K_{ш}/N$ (отношение коэффициента шлифования к значению эффективной мощности) показала, что для высокопористых кругов этот показатель увеличивается на 25–30 %, причем наилучшие результаты достигаются при использовании кругов с номерами структур 10–11 и наполнителями фракцией № 40–80. Производительность обработки при этом возрастает на 15–70 % [272]. Сравнение работоспособности кругов с применением различных порообразующих наполнителей показало следующее:

работоспособность кругов 1 250 × 25–13 × 75 А99В60У-К 12–13 V, изготовленных на порообразующих $ПСС_{бА}$ и КФ, при обработке образцов из стали HRC-62–64 одинаковой характеристикой круга (объемного веса, твердости, звукового индекса) практически одинакова (работа проводилась на одной из зарубежных фирм);

работоспособность кругов 1 250 × 13 × 75 25А25–16 К, изготовленных с применением в качестве порообразующих микросфер и косточек с одинаковой характеристикой (кроме структуры), практически одинакова.

Кроме того, разработанный во ВНИИАШе и выпускаемый абразивной отраслью высокопористый инструмент был испытан в производственных условиях предприятий авиационной, станкостроительной, энергетической промышленности, в том числе он сравнивался с импортным инструментом (табл. 5.17) [297–302].

Как следует из анализа результатов, представленных в табл. 5.17, высокопористые круги с применением в качестве порообразующих $ПСС_{бА}$, П, КФ обеспечивают требования, предъявляемые к операциям шлифования и конкурентоспособны инструменту, покупаемому за рубежом.

Таким образом, можно сделать вывод, что высокопористые абразивные круги могут успешно применяться на операциях круглого, наружного, внутреннего шлифования, зубо-, шлицешлифования, заточки инструмента, плоского шлифования при обработке различных сталей и других материалов (сталь 45, ШХ15, 20, 18ХВА, 40ХНМА, У10, Р18, Х12Ф, чугун, специальные сплавы алюминия и др.), особенно в тех случаях, когда существует опасность прижога.

Производительность обработки при этом возрастает на 50–70 %. Высокопористый инструмент дает хорошие показатели качества при глубинном шлифовании.

В настоящее время продолжаются работы по применению высокопористого инструмента на операциях зубошлифования [303], резьбошлифования [304], при заточке быстрорежущего инструмента [305], а также глубинного шлифования, в том числе скоростного глубинного шлифования [306–308].

В настоящее время высокопористые круги выпускаются по ОСТ 2470-11–92 "Круги шлифовальные высокопористые на керамической связке. Технические условия". По этим техническим условиям круги могут изготавливаться из белого, легированных электрокорундов, карбида кремния зернистостью 50–6 (F36–F180). Типы и размеры кругов представлены в табл. 5.18.

Таблица 5.17

Результаты эксплуатационных испытаний высокопористых инструментов на керамической связке

Вид шлифования	Тип и характеристика абразивного инструмента	Обрабатываемый материал	Модель станка	Припуск, мм, не более	Показатели качества		
					Установленный ресурс обработанных деталей, шт., не менее	Коэффициент шлифования, $см^3/см^3$ (г/г), не более	Шероховатость поверхности R_a, мкм, не более
Шлифование "елочного" профиля замка лопаток Р.Т.	3 450 × 25 × 203 24А 10 ВМ2 10 К5 П40-15	ЖСБУВИ	SS-013 (фирма "Эльб-Шлиф")	2,1	300		0,63
	3 450 × 25 × 203 24А 10 ВМ1–ВМ2 12 К5 П40-15	ЖСБУВИ	То же	2,1	300	–	0,63
	3 450 × 25 × 203 24А 10 ВМ1–ВМ2 12 К5 ПСС40-15	ЖСБУВИ	" "	2,1	300		0,63
Одностороннее шлифование боковых поверхностей хвостовика машины ГТН-25	1 500 × 70 × 203 24А(91) 40 3И35-37 10 К5 КФ40	ЖСБ-К, ЦНК-7НК	DE-12μС (фирма "Эльб-Шлиф")		180		1,25
Двухстороннее шлифование "елочного" профиля хвостовика лопатки	3 450 × 25 × 203 24А(91)40 3И35-37 10 К5 КФ40	ЖСБ-К, ЦНК-7НК	SS-013 (фирма "Эльб-Шлиф")	–	–		–
Шлифование "елочного" профиля хвостовика турбинной лопатки (одновременная установка четырех лопаток)	3-1 500 × 25 × 203 25А 10 3И31–35 12 К1 П40	Сплав ЖС-6У	Станок SS-13 (фирма "Эльб-Шлиф")		При двух правках h = 0,1 мм на радиус круга 800 мм		1,25

Шлифование "елочного" профиля хвостовика турбинной лопатки (одновременная установка четырех лопаток)	1 450 22–25 × 203 25А 10 ЗИ31–35 12 К5 П40	Сплав ЖС6УВИ	SS-13L (фирма "Эльб-Шлиф")	–	При DKP = – 450 мм, h = 0,2 мм на диаметр 500 мм		1,25
Шлифование "елочного" профиля хвостовика I ступени ГТН-25	3-1 450 × 55 × 203 3-2 450 × 55 × 203 3-3 450 × 45 × 203 95А/25А 40 ЗИ33-35 10 К5 П40	Сплав ЦНК-7	Специальный SS-013 (фирма "Эльб-Шлиф")	5,5 5,5 5,5	10 10 10	– – –	1,25 1,25 1,25
Шлифование "елочного" профиля хвостовика III ступени ГТН-25	3-3 450 × 85 × 203 25А/95А 40 ЗИ33–35 10 К5 П40	13Х11Н2В2 МФШ	То же	8,5	38	–	2,5
Шлифование наружной радиальной плоскости хвоста и бандажа турбинной лопатки I ступени ГТН-25	1 500 × 40 × 203 1 500 × 70 × 203 25А 40 ЗИ33–35 10 К5 40 КФ40	Сплавы ЭП539, ЖС-6К, ЦНК-7, 286–332НВ	Плоскошлифовальный IDT-12VCC (фирма "Эльб-Шлиф")	5,0	110	–	2,5
Шлифование "елочного" профиля хвостовика лопатки I ступени ГТК-10	3 450 × 45 × 203 25А 40 10–11 ЗИ33 К5 КФ40 3 450 × 55 × 203 89А, 37А 46 Н12 (фирма Tyrolit, Австрия)	ЗМИ-3У, HRC 49–50 ЗМИ-3У, HRC 49–50	SS-013 (фирма "Эльб-Шлиф") То же	5,65 5,65	76 71	– –	2,5 2,5
Шлифование "елочного" профиля хвоста рабочей лопатки II ступени турбины ГТК-10	3 450 × 45 × 203 25А 40 11 ЗИ33 К5 3 450 × 55 × 203 89А, 37А 46 Н12 (фирма Tyrolit, Австрия)	ЗМИ-3У, HRC 49–50 ЗМИ-3У, HRC 40–50	" " " "	5,65 5,65	60 60	– –	2,5 2,5

Продолжение табл. 5.17

Вид шлифования	Характеристика абразивного инструмента	Обрабатываемый материал	Модель станка	Припуск, мм, не более	Показатели качества		
					Установленный ресурс обработанных деталей, шт., не менее	Коэффициент шлифования, см³/см³ (г/г), не более	Шероховатость поверхности R_a, мкм, не более
Шлифование профиля хвоста рабочей лопатки I ступени ТВД ГТК-10	3 500 × 50 × 203 25А 25 ЗИ34–35 10 К5 КФ40	ЗМИ-ЗУ	Профильно-шлифовальный, модель Magerle HPA (Швейцария)	4,5	23		0,63
Глубинное шлифование турбинной лопатки	1 450 × 40 × 203 25А 16 М2 10 К5 КФ40	Сплав ЖС6ФБИ	Специальный 3Е722 14 МИ 232	10	600	(2,9)	1,25
Глубинное шлифование турбинной лопатки	1 400 × 40 × 203 25А 16 М2 10 К5 КФ 40	Сплав ЖС6ФВИ	То же	10	600	(2,9)	1,25
Шлифование "елочного" сферического профиля хвостовика рабочей лопатки К-500-65/3000 (типовые представители)	3 250 × 65 × 76 24А 40 М1–М2 10 К5 П40-20	13Х11, МФШ, *HB* = = 241–286	SS-013EMCN (фирма "Эльб-Шлиф")	–	25		
	3 600 × 65 × 203 24А40 ВМ1–М1 10 К5 П40-20	То же	То же	4,5	50	–	1,25
Шлифование наружной радиальной плоскости хвоста и бандажа турбинной лопатки	1 500 × 40 × 203 24А 40 ВМ1–ВМ2 10 К5 П40-20	ЭП539, *HB* = = 286 332	Плоскошлифовальный DE-12MCN (фирма "Эльб-Шлиф")	5,0	110	–	2,5
Шлифование шестерни 5-й передачи промежуточного вала	1 300 × 25 × 76 91А 50 СМ1 10 К11 ПСС40-15	15ХГН, 2ТА, *HB* = = 156–207	Плоскошлифовальный ЛШ-87	0,2	800	–	1,25

Шлифование кольцевых канавок корпусных деталей преобразователя	1 150 × 25 × 32 25А 25–16 СМ2 11 К5 ПСС40-15	18Х2Н48А-СШ, HRC 58	Внутришлифовальный Bryant-24	0,4	30		0,4–0,8
Плоское шлифование боковых поверхностей стальных направляющих в сборе со станиной (L = 1200–2000 мм)	3 400 × 80 × 127 25А 40 М3 СМ1 10 К20 П40-20	Чугун СЧ-20, HB = 190	Модель SFBZ (фирма "Кобург", Германия)	1,0	–	2,2	1,25
	1 400 × 63 × 127 25А 40 М3 10 К20 П40-20	То же	То же	0,4		2,2	1,25
Плоское шлифование направляющих и базовых поверхностей станин корпусов, стоек станков ($L \times B$ = 1000–2300 × × 100–800 мм)	1 600 × 100–150 × 305 25А 40 М3–С1 10 К20 П40-20	Чугун СЧ-20	" "	1,0	Предварительная обработка – 1000; окончательная – 5000	–	1,25
Плоское шлифование планок направляющих (L = 500 1516 мм)	1 500 × 63–100 × 203–305 25А 40 М3–СМ1 10 К20 П40-20	Сталь 8ХФ, HRC 58–62	" "	1,5	–	2,4	1,25
		Сталь ШХ-15 СТ, HRC 56–60	Модель 3Б724	1,5	–	8,4	1,60
Плоское шлифование станин станков длиной, мм	1 600 × 86–100 × 305 25А 40 М3 СМ1 10 К20 П40-20	Чугун СЧ-20, HRC ≥ 44	SFBZ 6М (фирма "Хеккерт", Германия)				
4000				1,0		5,0	1,25
6000				0,4		4,7	6,63
Плоское шлифование направляющих станин станков (L = 2000–4000 мм)	1 600 × 150 × 305 25А М3–СМ1 10 К20 П40-20	Чугун СЧ-20, HB = 190	То же	1,0	–	4,2	1,25
		Сталь 8ЖФ, HRC 58–62	" "	0,5	–	4,2	0,63

Продолжение табл. 5.17

Вид шлифования	Характеристика абразивного инструмента	Обрабатываемый материал	Модель станка	Припуск, мм, не более	Показатели качества		
					Установленный ресурс обработанных деталей, шт., не менее	Коэффициент шлифования, см^3/см^3 (г/г), не более	Шероховатость поверхности R_a, мкм, не более
Плоское шлифование планок (заготовок, L = 4000–6000 мм)	1 600 × 86 × 305 25А 40 СМ1 10 К20 П40-20	Сталь 8ХФ, HRC 58–62	Модель CXV 112 (фирма "Матрикс", Англия)	1,4	–	1,3	0,63
		Чугун СЧ-20, B – 190	То же	1,3	–	2,6	1,25
Плоское шлифование направляющих станин № 1М63.11.20 № 1М64.11.0.20	1 600 × 80–100 × 305 25А М3 10 К20 П40	Чугун СЧ-20, $HR \geq 40$	SFBZ 6V (фирма "Хеккерт", Германия)	 0,3–0,4 0,8–1,0	 35–37 35 37	 4,7 5,0	 0,63–1,25 0,63–1,25
Плоское шлифование планок № 10.025	1 600 × 86 × 305 25А40 М3–СМ1 10 К20 П40-20	Чугун СЧ-20, без термообработки	CXY 112 4M (фирма "Матрикс", Англия)	0,8- 0,7 1,2- 1,3	- -	2,1 2,6	0,63 0,63
Плоское шлифование планок № 51.150/1 № 50.150/4	1 500 × 63 × 203 25А 40 М2–М3 10 К43 П40-20	Сталь 8ХФ HRC 58–62	SFBZ (фирма "Хеккерт", Германия)	 0,3–0,4 1,2–1,5	 –	 2,4 2,4	 1,25 1,25
Плоское шлифование планок № 51.150/9/10 № 50. 150/4	1 600 × 86 × 305 24А 40 М3–СМ1 10 К20 П40-20	Сталь 8ХФ, HRC 58–62	CXY112 4M (фирма "Матрикс", Англия)	 0,4–0,7 0,8- 1,4 0,8–1,4	 64 72 56	 1,1 1,3 1,0	 0,63–1,25 0,63–1,25

Плоское шлифование деталей: станины № 500 МФ4. 04.051; № 500 МФ 4.201060; стойка № 500 МФ 4.301.051; колонка № ГДВ 400.11.010; корпус № 500 МФ 4.201.060 с площадью обработки 150–1200 × 4000 × 2	1 600 × 100–150 × 305 25А 40 М3–СМ1 10 К5 П40-15	Сталь 8ХФ, HRC 56–62	Продольно-шлифовальный станок (фирма "Вальдрих-Кобург")	0,4	320	–	0,63
Глубинное одностороннее шлифование пазов в кулочках токарных патронов	1 300 × 10–16 × 76–127 25А 25 С1 10 К43 КФ40	Сталь 20Х, HRC 56–63	Специальный плоскошлифовальный ОШ-466	0,4	300	–	0,63
		Сталь 12Х, Н3А, HRC 6–63	Специальный плоскошлифовальный ОШ-465	0,3	300	–	0,63
Глубинное шлифование деталей линейных опор качения	1 500 × 13 × 203 25А 12 3И40–44 10 К5 П40	Сталь ШХ15, HRC 59–64	Специальный ЛШ-220	2,0	600 (пазов)	–	0,63
Глубинное однопроходное шлифование пазов в корпусе тисков	1 500 × 20 × 203 25А 12 3И40 10 К5 П40	Сталь 45, *HB* = 200	Специальный ЛШ-232	4,0	39	–	1,25
Шлифование эвольвентного профиля зуба цилиндрической шестерни: m = 6 мм, $Z = 29$, $B = 45$, $\alpha = 23{,}5°$, $Z_0 = 79{,}784$, d_3 = 174 мм	12 225 × 18/6 × 40 25А 25 М1 8 К5 ПСС40-15	Сталь 18Х2Н4ВАШ, HRC 62–64	Зубошлифовальный повышенной точности, модель 5851		–		0,63

Окончание табл. 5.17

Вид шлифования	Характеристика абразивного инструмента	Обрабатываемый материал	Модель станка	Припуск, мм, не более	Показатели качества		
					Установленный ресурс обработанных деталей, шт., не менее	Коэффициент шлифования, $см^3/см^3$ (г/г), не более	Шероховатость поверхности R_a, мкм, не более
Плоское шлифование различных изделий инструментального производства	1 250 × 20 × 75 25А 16 ВМ1–ВМ2 К5 ПСС40-15	Сталь 3Х13, 4Х13, Х18Н9Т, HRC 55–60 Сплавы ЭП-214, ЭП-218, ЭП-36	Плоскошлифовальный, модель 3Г71 и 3Г71 М То же	0,35–0,45 0,40–0,45	– –	 –	1,20–1,60 1,23–0,61
Плоское шлифование детали "втулка" № 081106	1 250 × 40 × 70 25А 25 С1 9 К5 ПСС40-7,5	Сталь Х12, HRC 56–58	Плоскошлифовальный, модель 3Г71	0,7	Стойкость круга между правками 960	-	0,63 1,25
Плоское шлифование деталей инструментального производства	1 250 × 20 × 76 25А 16 ВМ1–ВМ2 К5 ПСС40-15	Сталь Н45ХТ, Х18Н9Т, 3Х13	Станок TOS	0,7	Стойкость кругов в 10–15 раз выше обычных	-	1,25–0,63
Однопроходное глубинное шлифование деталей топливной аппаратуры	1 250 × 10 × 13 25А–91А 25–16 3И49–51 8 К43 КФ40	–	Станок моделей: ОШ-105 ОМ-127 ОШ-134 ОШ-126		 700–750 620–700 800–900 900–1100	 – – –	 – – –
Шлифование профиля и наружного диаметра червячных фрез с модулем 1,5–2,0 мм	1 150 × 25 × 32 25А 16 С1 9 К6 ПСС40-15	Сталь Р6М5 и Р18, HRC 62–65	-	-	Обеспечивают безприжоговый период	Больше на 20 % по сравнению с обычными кругами	-
Плоское шлифование резцов	1 300 × 20 × 127 63С 12 М3 10 К10 КФ 40	Сталь Р13, HRC 62–64	Плоскошлифовальный	0,3	–	(2,2)	0,16

Таблица 5.18

Типы и размеры высокопористых кругов

Обозначение типа	Эскиз	Размеры круга, мм		
		D	*T*	*H*
1		100–300	10–100	20
		100–300	10–100	32
		100–300	10–100	76
		100–300	10–100	127
		350–600	16–125	76
		350–600	16–125	127
		350–600	16–125	203
		350–600	16–125	305
3		250–600	65–90	76
		250–600	65–90	127
		250–600	65–90	203
		250–600	65–90	305
3-1		350–500	16–63	127
		350–500	16–63	203
3-2		400–450	55–80	127
		400–450	55–80	203
3-3		450–500	28–85	203
5		600	63,65	305

Окончание табл. 5.18

Обозначение типа	Эскиз	Размер круга, мм		
		D	*T*	*H*
7		600	75,100	305
7-1		450	100	203
7-2		450	75	203
11		150	40	32
12		250 280	20 33	32 90

При контроле качества абразивного инструмента определяют:
геометрические размеры;
неуравновешенность по ГОСТ 3060−86;
твердость по ГОСТ 18118−79 (по согласованию с потребителем);
пористость на приборе ПКП-1 (по согласованию с потребителем);
звуковой индекс (табл. 5.19).

Результаты многочисленных эксплуатационных испытаний показали, что для характеристики качества высокопористого инструмента достаточно одного определения ЗИ при условии изготовления инструмента по отработанному технологическому процессу.

Показатели качества типовых представителей кругов приведены в табл. 5.20, а режимы шлифования — в табл. 5.21.

Пример условного обозначения высокопористого круга: 3-1 450 × 25 × 203 25А 10 ЗИ33 10 К5 35 м/с КФ40 1 кл. ОСТ 2470-11−92: тип 3, исполнение 1, с наружным диаметром 450 мм, высотой T = 25 мм, диаметром посадочного

Таблица 5.19

Пример градуировочной таблицы для контроля высокопористых кругов

Звуковой индекс	Интервал значений	Частота прибора "Звук 202" ("Звук 203"), кГц, для кругов типа 1, мм (коэффициент формы Fi·10 ^{2})				
		400 × 127 (141)	400 × 203 (221)	(400, 500, 550) × 203 (218)	500 × 305 (373)	600 × 3 (333)
30	2950–3050	2,10–2,17	1,33–1,38	1,35–1,40	0,79–0,82	0,88–0,91
31	3050–3150	2,17–2,24	1,38–1,42	1,40–1,44	0,82–0,84	0,91–0,94
32	3150–3250	2,24–2,31	1,42–1,47	1,44–1,49	0,84–0,87	0,94–0,97
33	3250–3350	2,31–2,38	1,47–1,51	1,49–1,53	0,87–0,90	0,97–1,00
34	3350–3450	2,38–2,45	1,51–1,56	1,53–1,58	0,90–0,92	1,00–1,03
35	3450–3550	2,45–2,52	1,56–1,60	1,58–1,62	0,92–0,95	1,03–1,06

Таблица 5.20

Показатели качества (эксплуатационные характеристики) высокопористых кругов

Наименование операции обработки	Тип, размеры и характеристика круга	Эксплуатационные показатели	
		Технический ресурс (число обработанных деталей), шт.	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм, не более
Шлифование профиля хвоста рабочей канавки I ступени	3 500 × 50 × 203 25А 25 ЗИ35 10 К5 35 м/с КФ40 2 кл.	23	0,63
Шлифование профиля хвоста рабочей канавки II ступени	3 450 × 45 × 203 25А 40 ЗИ33 11 К5 35 м/с КФ40 2 кл.	60	2,5
Глубинное шлифование елочного профиля хвостовиков турбинных лопаток	3-1 500 × 25 × 203 25А 10 ВМ2 12 К5 35 м/с КФ40 2 кл.	800	1,25

Таблица 5.21

Операции и режимы шлифования высокопористых кругов

Наименование операции	Тип, размеры и характеристика круга	Обрабатываемый материал	Модель станка	Режим правки круга					Режим шлифования			
				Правка	Марка правящего инструмента	Глубина правки, мм/прох.	Подача, м/мин	Число проходов	Скорость круга, м/с	Глубина резания, мм	Продольная подача, мм/мин	Снимаемый припуск, мм
Шлифование профиля хвоста рабочей лопатки I ступени	3 500 × 50 × 203 25А 25 ЗИ10 К5 35 м/с КФ40 2 кл.	ЗМИ-ЗУ	Профильно-шлифовальный Mogerle HPA-124 (Швейцария)	Автомный, $V_{кр}$ = 20 м/с; $V_р$ = 14 м/с	Ролик алмазный фирмы "Венди"	0,25	0,022	36	30	0,05–1,0	200	4,5
Шлифование профиля хвоста рабочей лопатки II ступени	3 450 х 45 х 203 25А 40 ЗИ33 11К5 35 м/с КФ40 2 кл.	ЗМИ-ЗУ	"Эльбшлиф" SS013-L	Автомный, $V_{кр}$ = 20 м/с; $V_р$ = 20,9 м/с	Ролик алмазный ИК-2359	0,08	0,12	21	20–26	0,01–1,0	80–120	5,41
Глубинное шлифование профиля хвостовиков турбинных лопаток	ЖС6У-ВИ	ЖС6У-ВИ	Специальный "Эльбшлиф" SS013-L	–	Ролик алмазный	0,15 (две правки)	Врезная 2 мкм/об. круга	2	25–26	t_1 = 1,97 + 0,03, t_2 = 0,1, t_3 = 0,05	S_1 = 50; S_2 = 200; S_3 = 200	2,12

отверстия H = 203 мм, из белого электрокорунда марки 25А, зернистостью 10, со звуковым индексом ЗИ 33, номером структуры 10, на керамической связке К5, с предельной рабочей скоростью 35 м/с, с порообразующим наполнителем КФ, условной зернистостью 40, первого класса неуравновешенности.

Анализ зарубежных образцов высокопористых кругов. В табл. 5.22 представлены характеристика и анализ высокопористых абразивных инструментов, выпускаемых отдельными зарубежными фирмами.

Как видно из данных табл. 5.22, для зарубежных образцов высокопористых абразивных кругов характерны следующие особенности:

применение белого и нормального корундов и карбида кремния зернистостью 50–70 (36–120 по Fepa). При этом фирма Winterthur использует очень "мягкий" белый электрокорунд, фирма Carborundum предпочитает нормальный электрокорунд повышенной прочности и износоустойчивости, а фирма Tyrolit — белый электрокорунд, зерно которого отличается острыми режущими кромками F13-A; кроме того, в некоторых типах кругов в качестве зерна используется спеченный оксид алюминий, изготовленный по золь—гель (SG)-технологии [309];

по твердости круги выпускаются, как правило, "весьма мягкими" либо "мягкими" (F, G, H I);

применение специальных связок, в состав которых входят огнеупорная глина, полевой шпат и фритты сложного химического состава, содержащие бор, свинец, литий, кобальт, железо, окрашивающие круги в соответствующие голубой и красно-коричневый цвета;

определяемая методом водопоглощения пористость зарубежных кругов составляет 58–70 %, а размер пор в зависимости от зернистости абразивного материала и порообразующего наполнителя изменяется от 100 до 3000 мкм (рис. 5.35);

использование в маркировке широкого диапазона структуры абразивного инструмента (до 46). Однако при этом содержание зерна в круге (объемный процент) достигает 36–40 %, что соответствует структуре 11–13 (см. гл. 1, табл. 1.7, 1.8). Так, например, фирма Carborundum Elektrite (Чехия) изготавливает круги 12-й и 13-й структур с использованием порообразователей с размером основной фракции 1250–800 и 2500–1000 мкм соответственно.

У кругов Strato-12, выпускаемых фирмой Tyrolit, замаркированных структурой 12, размер пор 250–400 мкм, зернистость абразивного материала 10, а при структуре 21 размер пор 800–1000 мкм, зернистость 20–25 (табл. 5.23). При этом следует отметить, что круги фирмы, замаркированные 21-й структурой, соответствуют отечественным кругам со структурой 13,5 (рис. 5.36).

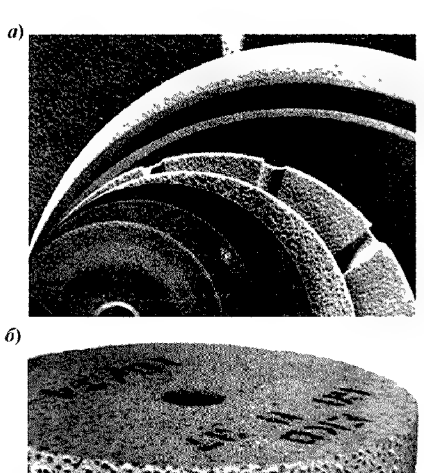
Как видно на рис. 5.36, микроструктуры круга Strato-99 и отечественного образца аналогичны. Также аналогичны результаты эксплуатационных испытаний. Кроме того, фирма выпускает высокопористый инструмент с рабочей скоростью 50 м/с и выше либо за счет упрочнения круга по отверстию пропиточным составом органического происхождения, либо за счет упрочнения круга другими методами (в табл. 5.24 представлен пример показателей качества отечественных и зарубежных кругов); качество кругов по геометрическим

Таблица 5.22

Характеристика высокопористого абразивного инструмента на керамической связке зарубежных фирм

Фирма (страна)	Типоразмер и характеристика круга	Абразивный материал	Зернистость материала, из которого изготовлен круг		Структура круга	Пористость	Твердость по ГОСТ 18118–79
			FEPA	ГОСТ			
Winterthur (Швейцария) по стандарту SN235370	500 × 20–125 × 203 53A60 f15 VP hhf 53A60 f15 VP mf 53A60 f13 VP mf 53A80 f15 VP mf 53A60 f18 VP hhf	53Af – белый электрокрунд со специально красно-коричневым связующим (после обжига), торговое название "Виторубин" (Vitorubin); f – материал очень мягкий	60 60 60 80 80	25 25 25 16 25	13–18 13–18 13–18 13–18 13–18	*m* – средняя пористость; f – мелкие поры; hh – очень высокая пористость	ВМ2–М3 ВМ2–М3 ВМ2–М3 ВМ2–М3 ВМ2–М3
Carborundum (Германия) по стандарту DSA	500 [20 125, 203] PA60G16V15B F15V15B G14V15B PA80G16V15B	PA – нормальный электрокорунд повышенной прочности и износоустойчивости	60 60 60 80	25 25 25 16	14–16 14–16 14–16 14–16	– – – –	ВМ1 ВМ2 ВМ1 ВМ2 ВМ1–ВМ2 ВМ1–ВМ2
Carborundum Elektrite (Чехия)	250–500 × 20 125 × 75 × 203	A96 – нормальный электрокорунд, A99B – белый электрокорунд, C карбид кремния	36–80	50–16	9–13	Очень пористая, особо пористая (53–63 % пор)	ВМ1–СТ1
Elbe (Германия)	450–550 × 16 105 × 203 305	22A – белый электрокорунд; хромистый электрокорунд, смесь белого и хромистого электрокорунда	80–120	10–40	9 16	60 70 % пор размером 100–1250 мкм	ВМ1–СТ2
Tyrolit (Аастрия)	1-3П 500 × 20–25 × 203 89A 100 2 G 11A V-237P25, 89A 60 J10 AV-237P1 F13A100GG2V, F1370GG2V (торговая марка кругов Strata 99 для работы со скоростью 30–50 м/с)	89A – белый электрокорунд То же F13A – белый электрокорунд с острыми режущими кромками	100 60 100 70	12 25 10 20–25	12 10 21–22 21–22	62–65 % пор 58 % пор размером до 1000 мкм 48–53 % пор размером 400 мкм для зернистости № 100–250 и 800–1000 мкм – для зернистости № 70	ВМ2 ВМ2 ВМ2–М2 М2–М3
"Космос-Бурка" (Корея)	KKW 46/60E12V 771	–	46/60	40/25	12	58 % пор	С1–С2

а)



б)

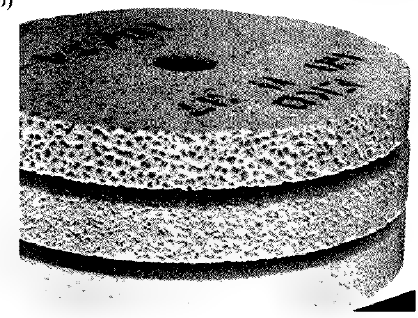


Рис. 5.35. Высокопористые образцы кругов зарубежных фирм:
а — Molemab (Италия); *б* — Atlantic (Германия)

Таблица 5.23

Характеристика зарубежных образцов кругов Strato фирмы Tyrolit

Свойства круга	Образец № 1	Образец № 2
Замаркированная зернистость: по FEPA по ГОСТ 3647–80	F100 10	F70 20–25
Твердость по ГОСТ 18118-79/глубина лунки	M2/5.3	M3/4.6
Замаркированная структура круга	12	21
Строение образцов (петрографический метод) Объемное содержание зерна, % Объемное содержание связки, % Объем пор, %	 39 11 50	 35 17 48
Размер пор, мкм	250–400	800–1000
Структура круга по данным петрографического анализа	12–13	13,5
Пористость, определяемая методом водопоглощения, %	48	53
Плотность, г/см^3	1,70	1,94

Таблица 5.24

Сравнительные качественные показатели отечественных и зарубежных абразивных кругов

Характеристика круга	Наружный диаметр круга, мм	Высота круга, мм	Внутренний диаметр круга, мм	Частота колебаний на приборе "Звук 203", кГц	ЗИ	Глубина лунки, мм	Степень твердости	Пористость, ед.	Неуравновешенность круга	
									Г	Класс
Абразивные круги отечественного производства										
3 500 × 25 × 203 25А 1 В 11 К5 П40-10	499,2–499,5	25,1	203,1	1,47	32	6,2–6,5	ВМ2	52, 53	10	1
3 500 × 25 × 203 25А ВМ2 11 К5 П40-10	501,0–501,1	25,1	203,0–203,1	1,46	32	6,3–6,7	ВМ2	53	12	1
1 500 × 25 × 203 25А 12 ЗИ 32 10 К5 КФ40	499,0–499,1	25,1	202,9–202,9	1,46	32	6,3–6,8	ВМ2	53	12	1
1 500 × 25 × 203 25А 10 ЗИ 32 10 К5 КФ40	501,0–501,1	25,1	203,1	1,47	32	6,4–6,8	ВМ2	54	10	1
1 500 × 25 × 203 25А 12 ЗИ 32 13 К5 КФ 40/КФ6	498,6–498,8	25,0	203,13	1,46	32	6,1–6,3	ВМ2	55	10	1
Абразивные круги фирмы Tyrolit (Австрия)										
3 500 × 25 × 203 89А 100-2С 11А V237 P25	499,0–499,1	24,8	203,0–203,1	1,47	32	6,2–6,9	ВМ2	50	12	1
	490,2–499,3	25,1	203,0–203,1	1,47	32	6,2–6,8	ВМ2	50	12	1
1 500 × 25 × 203 F16 A100 FF 23 V	490,2–499,3	25,1	203,0–203,1	1,47	32	6,3–7,0	ВМ2	55	12	1
1 500 × 25 × 203 F16A100 FF 23 V	490,2–499,3	25,1	203,0–203,1	1,46	32	6,4–6,9	ВМ2	50		1
	490,2–499,3	25,1	203,1–203,15	1,46	32	6,4–6,9	ВМ2	55	12	1

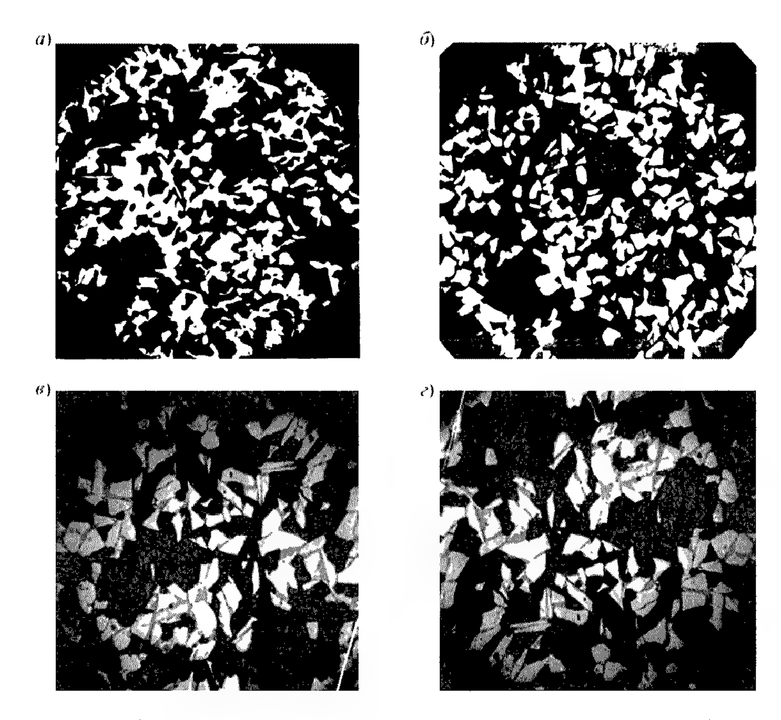


Рис. 5.36. Микроструктура высокопористых образцов (увеличение ×25):
а — круг Strato F13A 100 GG2V фирмы Tyrolit, замаркированная структура 12, *б* — круг 25A10 M2 10 K5 КФ40 (Россия), *в* — круг Strato F13A 70 GG2V фирмы Tyrolit, замаркированная структура 21, *г* — круг 25A25 M3 13,5 K5 КФ40 (Россия)

размерам разных фирм различны, жестко выполняются требования к посадочному отверстию (соответствует классу точности АА), а по неуравновешенности — первому-второму классам ГОСТ 2424–85.

5.3. Круги для шлифования шариков подшипников ("керосинка")

Круги для шлифования шариков подшипников отличаются от обычного инструмента резко выраженными особенностями, которые выделяют их производство в самостоятельную группу. При большом объеме изделия (массы) и мелкозернистом составе формовочной смеси круги должны обладать плотной структурой, высокой производительностью при шлифовке шариков и одновременно значительной стойкостью.

За основную характеристику таких кругов принята их плотность, которая значительно меняется в зависимости от рецептуры круга (соотношения составляющих в зерновой части круга и состава связки), температуры обжига и т. д.

Практикой установлено семь градаций по плотности, которые применяются при шлифовании шариков подшипников, кг/м^3·10^3: 2,61–2,65; 2,66–2,70; 2,71–2,75; 2,76–2,80; 2,81–2,85; 2,86–2,90; 2,91–3,00. Чем меньше размер шлифуемого шарика, тем выше должна быть плотность применяемого круга, и наоборот. При этом необходимо знать, что при определении плотности вносятся ошибки, связанные с погрешностью при замере геометрических размеров "керосинки".

В работах А.М. Карташева была установлена связь между плотностью круга и глубиной лунок по пескоструйному прибору, предложен метод и создана шкала твердости для шарошлифовальных кругов, однако до настоящего времени одной из основных характеристик "керосинки" является значение плотности. И только в последнее время для определения качества кругов стал применяться звуковой метод.

Разработка методов изготовления этих кругов принадлежит С.Г. Воронову, который впервые в рецептуре использовал в качестве зерновой части электрокорунд белый, нормальный, а затем добавили карбид кремния. Было установлено, что более стабильными по качеству являются круги на основе белого электрокорунда. В качестве связок для производства "керосинки" использовались огнеупорные глины различной огнеупорности и полевой шпат, иногда вводился тальк. (Пример химического состава связки, %: SiO_2 59,60, Al_2O_3 23,06, B_2O_3 0,57, Fe_2O_3 1,8, TiO_2 0,25, CaO 1,71, MgO 0,95, K_2O 8,0; п. п. п. 4,0.)

В работах Н.П. Згонника с сотрудниками [310, 311] было установлено следующее:

невозможно получить плотный и твердый черепок при использовании только одного абразивного материала, в частности белого электрокорунда;

добавка карбида кремния в количестве даже 10 % соответствует резкому снижению пористости и образованию плотного черепка;

оптимальным соотношением компонентов формовочной смеси для получения инструмента с различной плотностью являются, например:

для плотности 2,75 г/см^3 — состав круга 55 % зерна в соотношении 24А : 63С = 35 : 65 или 25 : 75, 45 % связки;

для плотности более 2,9 г/см^3 — состав круга 52 % зерна в соотношении 24А : 63С = 65 : 35, 48 % связки;

оптимальной температурой обжига указанных составов является 1260 °С, время выдержки при этой температуре 8 ч. Структура шлифовального круга должна быть плотной и иметь минимальную пористость (рис. 5.37);

изменение свойств черепка с введением SiC объясняется его взаимодействием с азотом, находящимся в формовочной смеси. В черепке происходит химическое соединение азота с метакаолинитом, а после образования при температуре 980 °С плотно упакованной решетки Al—Si-шпинельной фазы адсорбированный азот из нее вытесняется. Выделение азота происходит и из полевошпатового расплава, что вызывает вспучивание спекшегося черепка. Добавка в массу тонкодисперсного карбида кремния позволяет связать выделяющийся в процессе обжига азот путем образования оксида нитрида Si_2ON_2 или нитрида кремния Si_3N_4. Чем больше в массе связки каолина и полевого шпата, тем больше требуется вводить карбида кремния для получения высокоплотного и твердого черепка [311].

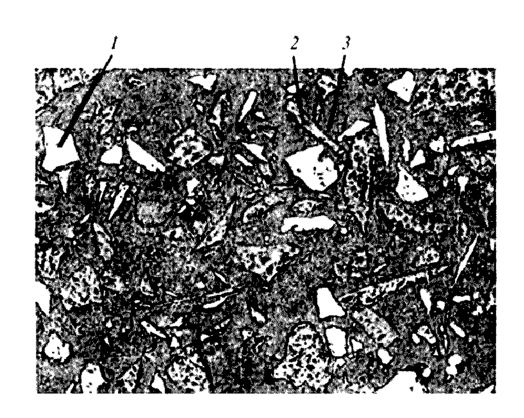


Рис. 5.37. Микроструктура шарошлифовального круга:
1 — зерно 14А; 3 — зерно SiC; 3 — связка

Разработанные составы шарошлифовального инструмента позволили освоить этот вид продукции на заводах абразивной отрасли, провести сравнение их с импортными кругами (табл. 5.25), а также обеспечить этим инструментом подшипниковую промышленность [312, 313].

Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний отечественных и зарубежных кругов на шлифующую способность при обработке шариков различных размеров приведены в табл. 5.26.

Как показали результаты испытаний, отечественные круги работали на уровне зарубежных аналогов. При этом необходимо отметить, что эти испытания были проведены на режимах, отличающихся сравнительно низкой средней скоростью шлифования (5 м/с) при высоких давлениях на круг (12–18 т·с).

В настоящее время выпуск шарошлифовальных кругов может осуществляться по трем техническим условиям "Круги шарошлифовальные": ТУ 2-036-0224450-040–90; ТУ 3981-017-05748371–2001; ТУ У 3.02-00222226-022–2001. Предельные отклонения в размерах шарошлифовальных кругов представлены в табл. 5.27.

Появление трех технических условий обусловлено изготовлением кругов на различных абразивных заводах с использованием абразивных материалов различного качества и зернистостей, применением связки различного как шихтового, так и сырьевого состава.

По первым техническим условиям формовочная смесь может изготавливаться из нормального и легированного электрокорундов зернистостью 12–8 или фракции минус 160, карбида кремния черного фракции минус 63–80 (разработчики технологии — В.Т. Ивашинников, А.Ф. Анисимова, А. Магафуров и др.).

По вторым техническим условиям круги изготавливаются из белого электрокорунда зернистостью 12–8 и зернистостью М50 с применением как черного, так и зеленого карбида кремния зернистостью М50–М40 (разработчики технологии — Е.В. Сохович, С.М. Федотова, Н.Д. Райцис).

Таблица 5.25

Результаты анализа состава и свойств шарошлифовальных кругов зарубежных фирм и отечественного производства

Страна	Фирма-изготовитель	Маркировка круга	Размер зерен, мкм		Абразивный материал	Содержание, %		Объемный вес, г/см^3	Твердость по пескоструйному прибору	Механическая прочность, МПа	Модуль упругости $E \cdot 10^5$, МПа	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ (100–900 °С)
			основной массы	редких		Абразив	Связка					
Англия	Norton	37CXFZ512V	12,5–38	63	Карбид кремния (смесь черного и зеленого)	46,4	53,6	2,64	ЧТ7–ЧТ9	95,0	9,6	9,1
Германия	Norton	A180FZ613B	70–125	154	Электрокорунд нормальный	38,5	61,5	2,58	ЧТ4–ЧТ5	71,0	8,8	10,4
		A180Z613B	56–98	154		33,9	66,1	2,60	ЧТ4–ЧТ5	79,0	12,1	10,3
	Atlantic	SC400Z	12,5 32	63	Карбид кремния черный	51,3	48,7	2,54	ЧТ6 ЧТ9	99,0	13,0	8,0
Франция	Norton	37CFXYVP	28 56	112	Смесь карбида (черного и зеленого) и электрокорунда нормального	51,8	48,2	2,66	ЧТ7	103,0	11,0	6,8
Чехия	Carborundum	400Z	12,5–25	38–50	Карбид кремния черный	39,6	60,4	2,40	ЧТ3–ЧТ4	71,0	10,5	6,4
Япония	Noritake	C400ZVH	12,5–38	57	То же	54,7	45,3	2,49	ЧТ5–ЧТ6	113,0	14,0	5,8
Россия*	Завод № 1	14A/SiC 63						2,90	ЧТ6 ЧТ7	75,0	11,2	7,1
	Завод № 2	14F/SiC 63		–	–	–		2,85	ЧТ6 ЧТ8	78,0	9,8	7,4
	Завод № 3	14A/SiC 16	–	–	–	–	–	3,00	ЧТ9	109,0	14,1	–

* А. с. 313822. Масса для изготовления абразивного инструмента / Н.П. Згонник, В.А. Барановский, В.Ф. Соколов и др. // Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки. 1971. № 27.

Таблица 5.26

Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний отечественных и зарубежных кругов при обработке шариков различных размеров

Фирма или завод-изготовитель	Маркировка круга	Размер обработанных шариков	Производительность		Удельный износ круга		Количество обработанных шаров при износе круга на 1 мм его высоты		Шероховатость обработанной поверхности R_a, мм, не более
			кг металла/ч	%	кг абразива / кг металла	%	кг	%	
Завод № 1	14/SiC 63	5/16–9/32	2,07	100*	0,396	100*	41	100*	1,25–0,63
Завод № 2 (Россия)	14A/SiC 63	5/16–9/32	2,27	110	0,251	63	60	146	1,25–0,63
Завод № 3	14A/SiC 63	5/16–9/32	2,20	106	0,186	47	75	183	1,25–0,63
Atlantic (Германия)	SC400Z	5/16–9/32	2,04	99	0,385	97	40	98	1,25–0,63
Norton (Франция)	37CFXYVP		2,33	112	0,540	136	35	85	0,63
Завод № 1	14/SiC 63	1/2–9/16	1,33	100	0,555	100	68	100	0,63
Завод № 2 (Россия)	14A/SiC 63	1/2 9/16	1,50	114	0,382	69	65	96	0,63
Завод № 3	14A/SiC 63	1/2 9/16	2,34	177	0,198	36	119	175	1,25–0,63
Norton (Англия)	37CXFZ512V	1/2–9/16	1,85	140	0,411	74	52	77	1,25–0,63
Atlantic (Германия)	SC400Z	1/2–9/16	1,01	77	0,416	75	52	76	1,25–0,63
Norton (Германия)	F180Z613B	1/2–9/16	3,61	274	1,500	273	8	12	1,25
Carborundum (Чехия)	400Z	1/2 9/16	1,20	91	0,930	168	20	29	0,63
Завод № 1	14/SiC 63	21/16 13/8	0,74	100	0,467	100	174	100	1,25–0,63
Завод № 2 (Россия)	14A/SiC 63	21/16 13/8	0,89	120	0,559	120	106	61	8 9
Завод № 3	14A/SiC 63	21/16 13/8	2,11	285	0,379	81	190	109	1,25–0,63
Norton (Германия)	A180F7613B	21/16–13/8	1,47	200	1,000	214	17	10	1,25
Atlantic (Германия)	SC400Z	21/16 13/8	1,25	169	0,429	92	123	71	1,25–0,63
	400Z	21/16–13/8	0,84	114	2,780	595	26	15	0,63
	C400ZVH	21/16 13/8	1,31	177	0,835	179	74	43	0,63–0,32

* За 100 % приняты данные, полученные при испытании абразивных кругов завода № 1.

Таблица 5.27

Предельные отклонения в размерах шарошлифовальных кругов

Наружный диаметр D, мм			Высота T, мм			Диаметр отверстия H, мм		
Номинал	Предельное отклонение класса точности		Номинал	Предельное отклонение класса точности		Номинал	Предельное отклонение класса точности	
	А	Б		А	Б		А	Б
415	+6 –3	+8 –5	80 –	±5 –	+10 –5	205 –	±2 –	±5 –
600	+6 –10	+10 –5	100 –	+10 –5	+7 –5	290 –	+6 –4	+10 –5
800 840	+12 –4	+7 –10	– –	– –	– –	400 290	– –	– –

По третьим техническим условиям круги изготавливаются из нормального электрокорунда зернистостью 12–8 или фракции минус 160 с применением карбида кремния черного зернистостью М40–М28 (разработчик технологии — Л.Т. Захарова).

Во всех случаях в качестве связки используются полевой шпат, огнеупорная глина (каолин), боросиликатная фритта. Получение различной плотности шарошлифовальных кругов регулируется составом как зерновой части круга, так и связки. Пример рецептуры для изготовления круга приведен в табл. 5.28.

Технология изготовления шарошлифовальных кругов практически мало отличается от технологии производства обычных кругов на керамической связке, за исключением ряда особенностей:

сухое смешивание формовочной смеси производится в шаровых мельницах в течение 1,5–3 ч с применением в качестве мелющих тел высокоглиноземистых цилиндров или цильпебсов (уралитовых шаров) в соотношении 1 : 2 или 1 : 1;

формовочная смесь увлажняется водой через распылитель под давлением. Влажность формовочной смеси 7–9 %;

для стабилизации многокомпонентной формовочной смеси по влажности вводится операция вылеживания смеси в течение двух-трех суток;

прессование заготовок производится в два этапа: первый — давление подпрессовки $P_{подп}$ = 40 кгс/м^2 с выдержкой 120±10 с, после снятия давления из-под кольца вынимаются подпрессовочные подкладки; второй — давление рабочее $P_{раб}$ = 250±20 кгс/см^2 для получения заданной высоты с выдержкой 30±10 с, после чего снимается давление;

отклонение по высоте заформованной заготовки не должно превышать ±2 мм, а по высоте — ±1 мм. Заформованные заготовки остаются на формовочной плите;

для предотвращения образования трещин (на операциях сушки и обжига заготовок) срезаются кромки заготовок по наружному и внутреннему диаметрам с обеих сторон под углом 45° специальным ножом;

Таблица 5.28

Пример рецептуры для изготовления шарошлифовальных кругов

Наименование компонентов формовочной смеси	Составы формовочной смеси, вес. ч.		
	1	2	3
Электрокорунд нормальный марки 14А, зернистость 12–8 или фракция –160	35	–	40
Легированный электрокорунд марки 96А, фракция –160	–	–	–
Электрокорунд белый марки 25А			
Зернистость 8	–	28	–
Зернистость М50	–	12	–
Карбид кремния 61С, фракция –80	20	–	–
Карбид кремния марки 64С, 63С, зернистость М50–М40	–	15	–
Карбид кремния марки 63С, зернистость М40–М28	–	–	15
Связка			
В том числе:	45	45	45
Полевой шпат	27,5	27,0	27,9–29,7
Огнеупорная глина (каолин)	4,0–4,5	3,5	7,65–6,75
Боросиликатная фритта	6,0	8,5	5,0
Бентонит	7,0	6,0	4,5
Огнеупорность связки, °С	1180–1220	1180–1220	1200–1230
Плотность обожженного образца, кг/(м^3·10^{-3})	2,71–2,85	2,76–2,85	2,85–2,97

сушка кругов производится по режиму: выдержка заготовок в помещении цеха — не менее двух суток (t = 18–25 °С); режим сушки в сушилах: при 60 °С время выдержки 24 ч, при t = 100–120 °С — 48 ч и при t = 70 °С — 24 ч. Транспортировка вагонов на сушила осуществляется при температуре не выше 30 °С;

постановка заготовок на обжиг в туннельные (камерные) печи производится на верхние полки печных вагонеток и на плиты с отверстиями ("труба"). Заготовки круга устанавливаются отверстием над "трубой". Продолжительность обжига — 96 ч (нагрев — 37–40 ч, охлаждение — примерно 48 ч, выдержка при максимальной температуре — 6–8 ч). Температура обжига 1220–1250 °С.

Обработка обожженных заготовок производится в следующей последовательности:

обработка торцевых плоскостей заготовок;

обработка отверстий;

обработка периферии заготовок.

Обработка торцевых плоскостей заготовок производится на плоскообдирочном станке модели КШ-122 чугунной дробью ДЧК № 1,8 по ГОСТ 11964–81, которая начинается с нерабочей стороны заготовки (плоскость с приплавленным подсыпочным материалом), после чего производится обработка рабочей стороны (верхняя плоскость при формовании заготовки) до высоты заготовки.

Во избежание сколов кромок заготовок применяются прокладки из губчатой резины толщиной не менее 10 мм (ТУ 38-105-817–81). Режим обработки: скорость стола — 15 об/мин, планшайбы — 15 об/мин, давление пневмоприжима планшайбы — 0,35 МПа.

Обработка отверстий производится на токарно-лобовом станке модели РТ-103 абразивным кругом типа 1 250 × 40−50 × 75 53С С2−СТ1 Б по режиму: вращение шпинделя — 160 об/мин, вращение шлифкруга — 2900 об/мин, подача — 0,6−0,8 м/мин, глубина — 0,02−0,05 мм/ход.

Заготовки, полученные в процессе расточки с большим предельным отклонением диаметра отверстия от требований технических условий, калибруются калибровочной смесью. После ее нанесения и высыхания отверстие заготовки проверяется непроходным калибром и зачищается.

Обработка наружной поверхности заготовок производится на токарно-лобовом станке модели РТ-103 шлифовальными кругами 1 250 × 40−50 × 76 53С25 С2−СТ1 Б по режиму: вращение шпинделя — 160 об/мин, вращение шлифовального круга — 2900 об/мин, подача — 0,8−1,0 м/мин, глубина — 0,02−0,04 мм/ход.

После полной механической обработки круги обдуваются сжатым воздухом в обдувочных камерах и отправляются на контроль и приемку.

Обработка шарошлифовальных кругов указанным способом является трудоемкой и низкопроизводительной операцией.

На некоторых заводах обработку периферии шарошлифовальных кругов производят без охлаждения алмазным кругом на металлической связке по схеме, представленной на рис. 5.38. При этом предварительное шлифование производится врезанием "уступами", а окончательное — при продольной подаче инструмента вручную, что приводит к образованию сколов кромки. При сухой схеме обработки нагревается металлическая связка алмазного круга, и режущая способность алмазного круга снижается, производительность обработки падает.

В связи с этим рекомендуется производить обработку периферии шарошлифовальных кругов алмазным кругом АЧК 250 × 10 × 76 3АС65 500400−315/250 на связке М2−01 или М6−03, 100 %-ной концентрации по определенной схеме (см. рис. 5.38). Здесь радиальное усилие распределяется по всей образующей периферии, что обеспечивает отсутствие сколов на кромках шарошлифовальных кругов. После механической обработки круги отправляются на контроль и маркировку.

Геометрические размеры шлифовальных кругов и остальные показатели их качества должны соответствовать требованиям, указанным в технических условиях.

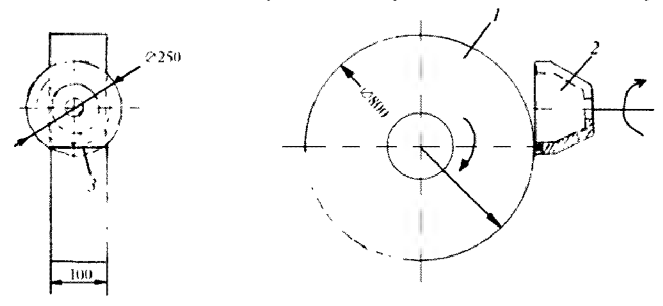


Рис. 5.38. Обработка периферии шарошлифовального круга:
1 — шарошлифовальный круг; *2* — алмазный чашечный круг;
3 — длина линии контакта для круга АЧК 250 × 15 × 32

Расчет плотности круга. Расчет плотности круга производится по формуле

$$\rho = \frac{m}{V_{кр}},$$

где ρ — плотность круга, кг/м^3; m — масса круга, кг; $V_{кр}$ — объем круга, м^3.

Расчет объема круга. Расчет объема круга производится по формуле

$$V_{кр} = \frac{\pi\left(D^2 - H^2\right)}{4}T,$$

где $V_{кр}$ — объем круга, м^3; D — наружный диаметр круга как среднее из четырех измерений в двух плоскостях во взаимно перпендикулярных направлениях, м; H — диаметр посадочного отверстия круга как среднее из четырех измерений в двух плоскостях во взаимно перпендикулярных направлениях, м; T — высота круга как среднее четырех измерений, м.

Расчеты производятся с точностью до 0,01 единицы измерения.

Контроль твердости кругов производится на приборе "Звук 203М" по методике, представленной в ТУ 4276-077-00224450−99.

Ориентировочные соотношения между звуковым индексом (ЗИ) и плотностью кругов из белого электрокорунда представлены в табл. 5.29, а из нормального электрокорунда — в табл. 5.30.

Таблица 5.29

Ориентировочные соотношения между звуковым индексом и плотностью шарошлифовальных кругов из белого электрокорунда

Звуковой индекс с шагом 100 м/с	Показания прибора "Звук 203М"		Плотность шлифовального круга, г/см^3
	Скорость C_l, м/с	Частота, кГц	
70–72	6950–7250	2,22–2,30	2,88–2,91
72–73	7150–7350	2,28–2,33	2,92–2,97
73–74	7250–7450	2,31–2,36	2,97 и более

Таблица 5.30

Ориентировочные соотношения между звуковым индексом и плотностью шарошлифовальных кругов из нормального электрокорунда

Звуковой индекс с шагом 100 м/с	Показания прибора "Звук 203М"		Плотность шлифовального круга, г/см^3
	Скорость C_l, м/с	Частота, кГц	
65	6450–6550	2,05–2,08	2,66–2,69
66	6550–6650	2,09–2,11	2,70–2,72
67	6650–6750	2,12–2,14	2,73–2,75
68	6750–6850	2,15–2,17	2,76–2,78
69	6850–6950	2,18–2,21	2,79–2,82
70	6950–7050	2,22–2,24	2,83–2,85
71	7050–7150	2,25–2,27	2,86–2,88
72	7150–7250	2,28–2,30	2,89–2,91
73	7250–7350	2,31–2,33	2,92–2,94
74	7350–7450	2,34–2,36	2,95–2,97

Маркировка кругов осуществляется на рабочей поверхности (рабочая сторона — р. с.). Пример условного обозначения круга: 800 × 100 × 290 14А минус 160 2,95(ЗИ 72). ТУ 43.02-0022226-022–200: тип 1 наружным диаметром 800 мм, высотой T = 100 мм, диаметром посадочного отверстия H = 290 мм, из нормального электрокорунда фракции минус 160, плотностью 2,95, звуковым индексом ЗИ 72.

Эксплуатационные показатели шарошлифовальных кругов. При эксплуатации шарошлифовальных кругов определяются:

установленный ресурс круга при его износе на 60 мм по формуле $Q = Mn$, где M — масса одной загружаемой партии шариков, кг; n — число партий шариков, обработанных за время работы круга при его износе на 60 мм;

наработка, кг, шариков на 1 мм износа круга, определяется по формуле $H_1 = \frac{MK}{И_к}$, где H_1 — наработка на 1 мм износа круга, кг; M — масса одной загружаемой партии шарнков, кг; K — число партий шариков, обработанных за время работы круга; $И_к$ — износ круга, мм, после обработки K партий шариков;

параметр шероховатости обработанной поверхности шариков, определяется на приборе профилографе-профилометре типа "Телесерф".

При использовании шарошлифовальных кругов, изготовленных из нормального электрокорунда, рекомендуется выбирать для обработки шариков различных диаметров круги плотностью, указанной в табл. 5.31, изготовленных

Таблица 5.31

Рекомендуемая плотность шарошлифовальных кругов, изготовленных из нормального электрокорунда, для обработки шариков подшипников различных диаметров

Диаметр шаров		Плотность кругов, кг/м^3·10^{-3}
дюймы	мм	
3/16–5/16	4,76–7,94	2,91 и более
3/8–19/32	9,52–15,08	2,86–2,90
9/16–13/16	14,29–20,64	2,81–2,85
3/4–31/32	19,05–24,61	2,76–2,80
1–1,5/8	25,40–41,28	2,71–2,75
1–2	25,40–50,80	2,66–2,70
25/1,1/4	19,84–31,75	2,61–2,65

Таблица 5.32

Рекомендуемая плотность шарошлифовальных кругов, изготовленных из белого электрокорунда, для обработки шариков подшипников различных диаметров

Диаметр шаров		Плотность кругов, кг/м^3·10^{-3}
дюймы	мм	
3/16, 15/64, 9/32, 5/16	5–8	2,97 и более
3/8, 7/16, 29/64, 31/64, 1/2, 19/32	9,5–15,0	2,93–2,96
3/4, 25/32, 3 /32, 11 1/16; 5/8	19–41 и более	2,85–2,92

Таблица 5.33

Условия шлифования и эксплуатационные показатели шарошлифовальных кругов

Наименование и номер технических условий	Тип, размеры и характеристика круга, плотность, кг/м^3	Обрабатываемые шарики		Режим шлифования		Охлаждающая жидкость	Установленный ресурс круга при его износе на 60 мм, кг, не менее	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм, не менее, по ГОСТ 2789–73
		Материал	Диаметр, мм (дюймы)	Давление на круг, МПа	Частота вращения круга, мин$^{-1}$			
Круги шарошлифовальные (ТУ 2-036-0224450-040 90)	415 14А 12–8 –160, (2,60–3,0)10^3	Сталь марки Р5Х18 (ГОСТ 5632–72, HRC 63–67)	0,84–1,26	0,13/0,03	150	РЖ-3 (ТУ 38.101.954–83)	40–180	0,32
	500, (2,91 3,00)10^3	Сталь марки ШХ-15 (ГОСТ 801–78, HRC 61–67)	3,175 13,494 (1/8 17/32)	0,8/0,3	80 110	РЖ-8 (ТУ 38.101-893 83)	200 300	0,80
	800 × 100 × 290, (2,81· 2,85)10^3	Сталь марки 95Х18Щ (ГОСТ 5632–72, HRC 63–67)	9,526 23,019 (3–29/38)	1,0/0,2–0,5	80 - 121	Дизельное топливо марки СИЛ с добавкой 0,8–1 % стеарина	2500 3000	0,63
	840 (2,25–2,40)10^3	Сталь марки ШХ-15 (ГОСТ 801-78, HRC 61–67)	76,2- 152,4 (3–5 дюймов)	1,5/0	60–80	То же	1100–1400	0,63

Окончание табл. 5.33

Наименование и номер технических условий	Тип, размеры и характеристика круга плотность, кг/м^3	Обрабатываемые шарики		Режим шлифования		Охлаждающая жидкость	Установленный ресурс круга при его износе на 60 мм, кг, не менее	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм, не менее, по ГОСТ 2789 73
		Материал	Диаметр, дюймы	Давление на круг, МПа	Частота вращения круга, мин$^{-1}$			
Круги шарошлифовальные (ТУ У 3.02-00222226-0,22–2001)	800 × 100 × 290 А14 минус 160, (2,91-2,95)10^3	Сталь марки ШХ-15 (ГОСТ 801–78, HRC 61–67)	7,14 9,59 (9/32 3/8 дюймов)	1,5	60 123	Дизельное топливо марки ДСТУ 3868 (99 %); стеарин или арахни (1 %)	2100	0,63
	800 × 100 × 290 24А 10, (2,97–3,0)10^3	Сталь марки ШХ-15 (ГОСТ 801–78, HRC 61–67)	3,96–7,14 (5/32–9/32)	7,5/3,2	60–123	То же	Наработка на 1 мм износа круга 30	0,63
Круги шарошлифовальные (ТУ 3981-017-05748371 2001)	800 × 100 × 290 24А10, (2,92–2,97)10^3	То же	9,5–15,08 (3/8–19/32)	10,8/5,2	100 120	РЖ-8 (ТУ38, 101-964–83)	Наработка на 1 мм износа круга 50	0,32
	800 × 100 × 290 24А 10, (2,82–2,91)10^3	То же	18,2–41,2 (23/32–15/8)	10,8/5,2	100 120	РЖ-8 (ТУ38, 101-964–83)	Наработка на 1 мм износа круга 60	0,32

из белого электрокорунда — круги плотностью, указанной в табл. 5.32 (З.И. Кремень, Ю.В. Безолюк).

Контроль эксплуатационных показателей обеспечивается условиями проведения испытаний, представленных в табл. 5.33.

5.4. Абразивный инструмент для автомобильной промышленности

Выпуск инструмента для автомобильной промышленности осуществляется по ОСТ 2.70-8-79 "Инструмент абразивный для АвтоВАЗа и КамАЗа. Технические условия", ТУ 2-036-986-86 "Круги шлифовальные для обработки шеек коленчатого вала".

Использование автомобильными заводами высокоточного и производительного оборудования ведущих зарубежных фирм (Англии, Франции, Германии, Италии и Швейцарии), применение новых материалов для изготовления деталей автомобилей, высокая степень механизации и автоматизации, например, на КамАЗе потребовали создания отечественного специального абразивного инструмента повышенного качества.

К особенностям указанного абразивного инструмента следует отнести:

более жесткие требования по геометрическим размерам, как правило соответствующие классу точности АА, реже — А; при этом предельные отклонения для класса точности АА выше требований Международного стандарта ISO/FDIS 13942 (см. гл. 1, табл. 1.19);

отсутствие калибровки отверстий на кругах;

применение сложных фасонных профилей кругов (например, рис. 5.39), что приводит к увеличению расхода абразивного материала при механической обработке;

применение "тонких" кругов; так, например, при диаметре кругов 500–600 мм их высота составляет 15–20 мм, что вынуждает изготовителя кругов увеличивать припуск при формовании, приводящий к увеличению абразивного материала на 1 т продукции;

использование кругов, работающих в комплекте, например двух кругов диаметром 914 мм и высотой 27 и 30 мм (для предварительного шлифования пяти коренных шеек коленчатого вала), четырех кругов диаметром 903–914 мм и высотой 20 мм (для предварительного круглого наружного шлифования вала блока шестерен коробки передач шести кругов диаметром 1066 мм и высотами 28,9; 24,4; 25,0; 25,0; 27,4; 26,0 мм (для полуокончательного круглого наружного шлифования пяти коренных шеек коленчатого вала и места под сальник); при этом к кругам, работающим в комплекте, предъявляются особые требования: разность наружных диаметров кругов должна быть не более 1,0 мм, для кругов класса точности АА, работающих методом "врезания", предельные отклонения высоты круга устанавливаются на чертеже; для кругов, работающих на "проход" при бесцентровом шлифовании, предельные отклонения высоты не должны превышать ±1,5 мм [315];

использование кругов диаметром 500–600 мм и высотой 200 мм и более.

Примеры результатов испытаний зарубежного и отечественного абразивного инструмента, составленные на основании карт испытаний, представлены в табл. 5.34. Как следует из табл. 5.34, работоспособности зарубежных кругов

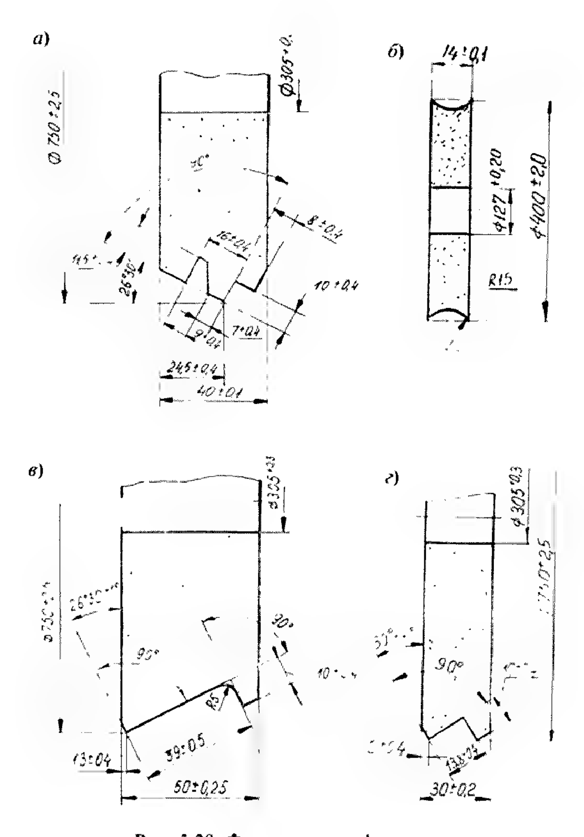


Рис. 5.39. Фасонные профили кругов:

а — круг шлифовальный типа ФП 750 × 40 × 305; *б* — круг шлифовальный типа ФП 400 × 14 × 127; *в* — круг шлифовальный типа УП 750 × 50 × 305; *г* — круг шлифовальный типа УП 750 × 30 × 305

и отечественных аналогов идентичны, т. е. получено соответствие отечественного абразивного инструмента по эксплуатационным показателям зарубежным аналогам, поставляемым со станками или по отдельным контрактам ведущих зарубежных фирм Германии (Atlantic, Dorfer, Norton), Англии (Landis), Франции (Durmschmidt), Швейцарии (Winterthur), США (Cincinnati, Bay State), Италии (Micromold, Simat, Norton, Patrone) [314—317]. При этом работоспособность кругов должна была соответствовать значениям, зафиксированным в картах испытаний (при допускаемом отклонении показателей работоспособности в пределах 10 %).

Таблица 5.34

Результаты испытаний зарубежного и отечественного абразивного инструмента

Операция абразивной обработки, эскиз операции	Наименование станка (страна)	Обрабатываемый материал	Код и характеристика зарубежных и отечественных кругов, фирма-изготовитель	Режимы шлифования				Производительность, дет./ч	Охлаждение	Стойкость между правками	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм
				Скорость круга, м/с	Число оборотов изделия, об/мин	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/мин				
Предварительное круглое шлифование вала блока коробки шестерен коробки передач	Landis (США-Англия)	Сталь 20ХГНМ	41.2700.4096-4099 1 909,4 × 20 × 305 1 904 × 20 × 305 1 903 × 20 × 305 1 914 × 20 × 305 Carborundum (Англия) DA54M5Y10W/Россия 25 А 32 С1 6 К5	32 32 32 32	270 270 270 270	– –	1,02 1,02 1,02 1,02	50 50 50 50	Эмульсия OE/ST, 1,5 %-ный раствор	20 20 20 20	0,60 0,65 0,75 0,75
Окончательное плоское шлифование накладки рычага привода клапана двигателя	Favretto (Италия)	Сталь 18ХН2М	41.217.4002 ФП 457 × × 20 × 203, Durschmidt (Германия) 99A60J8V30/Россия 25А 25 М38 К5	23	–	20	0,005	200	Эмульсия OE/ST, 1,5 %-ный раствор	72	1,2

Окончание табл. 5.34

Операция абразивной обработки, эскиз операции	Наименование станка (страна)	Обрабатываемый материал	Код и характеристика зарубежных и отечественных кругов, фирма-изготовитель	Режимы шлифования				Производительность, дет./ч	Охлаждение	Стойкость между правками	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм
				Скорость круга, м/с	Число оборотов изделия, об/мин	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/мин				
Снятие излишка стеллита с тарелки клапанов	Landis (США–Англия)	Сталь 40ХГНМ	41.2715.4007 ФП 762 × × 19 × 304,8 Bay state (США) 3A70J6V72/ Россия 25А 25 С1 7 К5	50	820	–	$S_1 = 12$, $S_2 = 2,4$	398	Масло ИТ-BIX	2	0,66–0,80
Круглое наружное шлифование торца и цилиндрической части головки поршня колесного цилиндра заднего тормоза	Fortuna (Германия)	Сталь АС 35Г2	41.2707.4017 УП 400 × × 15 × 127 Efesis (Германия) 4160/1M5KA/ Россия 25А 25 С1 7 К5	44	800	–	1,44	170	Раствор соды и нитрита натрия в воде	8	0,7–0,9

Окончательное бесцентровое шлифование центрирующей втулки фланца эластичной муфты карданного вала	Guistina (Италия)	Сталь 100С6	41.2700.4066 1 600 × × 250 × 304,8, Norton (Италия) 19A70L5VBE/ Россия 25А 20 СМ2 7 К	32	Число оборотов ведущего круга/мин	–	–	1200	Эмульсия OE/ST, 1,5 %-ный раствор	6000	0,6
Круглое наружное шлифование толкателя, буртика и радиусной фаски на головке поршня цилиндра привода сцепления	Fortuna (Германия)	Сталь АС 35Г2	41.2707.4018 ФП 400 × × 25 × 127 Efesis (Германия) 1460/1M5KA/ Россия 25А 25 С1 7 К5	44	800	–	1,44	200	Эмульсия OE/ST, 1,5 %-ный раствор	15	0,8
Полная фасонная обработка тарелки и канавки сухарей и снятие фаски на конце стержня клапана	Landis (США – Англия)	Сталь 40ХГНМ	41.2715.4006, 41.2715.4110 ФП 606,6 × × 44,5 × 304,8, ФП 609 × 19 × 304,8, ФП 600 × 44,5 × 304,8, ФП 602,5 × 19 × 304,8, Bay state (США) 3А702V6 V22/Россия 14А 20 DN2 6 К	47	14	–	6,6/3,3	213	Масло ИТ-81Х	3, до полного износа · 17900 деталей	2,1

Работами ВНИИАШа и абразивных заводов показано, что применение трех-четырех видов абразивного материала (электрокорунда белого марки 25А, нормального марки 14А, хромтитанистого) и керамических связок (марок К5, К20, К43, К10 и др.) отечественного производства, изготовление инструментов по унифицированной рецептуре, обеспечивающей получение изделий, обладающих максимальной прочностью при заданной твердости, использование метода формования инструментов с применением гидроплиты, позволяющей получать равномерную твердость и высокую степень уравновешенности, применение специальных станков и алмазного инструмента для механической обработки кругов класса АА позволили получить абразивный инструмент, по качеству аналогичный зарубежному, в котором использовались 8—10 марок электрокорундовых материалов (белого, нормального, хромистого, титанистого, монокорунда различных модификаций и их смесей), карбид кремния зеленый и черный и их модификации, керамические связки до 20 марок и круги различных структур. Это позволяет исключить закупку дорогостоящего зарубежного абразивного инструмента.

Маркировка продукции для АвтоВАЗа и КамАЗа должна содержать специальный условный код или номер чертежа (рис. 5.40).

На рис. 5.41 представлены отдельные виды абразивного инструмента, освоенного промышленностью России и других стран СНГ взамен зарубежных кругов.

5.5. Абразивный инструмент с применением сферокорунда

Для изготовления абразивного инструмента с применением сферокорунда были использованы корундовые сферические частицы с объемной массой 1,4—1,6 г/см^3 и толщиной стенки от 60 до 230 мкм. При увеличении объемной массы полых частиц повышается их прочность за счет роста толщины стенок [318]. В качестве примера приводится следующий состав формовочной смеси, вес. %: абразивное зерно — 41,2—42,7; полые сферические частицы — 41,2—42,7; клеящий увлажнитель — 5,1—4,5; связка — 10,9—8,6; сухой декстрин — 1,6—1,5.

Инструмент из смеси сферокорунда и белого или хромтитанистого электрокорунда изготавливали на керамических связках марок К5ПГ и К20ПГ, а из смеси сферокорунда и зеленого карбида кремния — на связках марок К3ПГ и К10ПГ. Содержание сферокорунда в смеси изменялось от 25 до 75 % [319].

Физико-механические свойства черепков, изготовленных из смеси сферокорунда и электрокорунда, приведены в табл. 5.35, а из смеси сферокорунда и зеленого карбида кремния — в табл. 5.36.

Как видно из данных табл. 5.35 и 5.36, механическая прочность при изгибе черепков зависит от соотношения шлифзерна сферокорунда и другого абразивного материала. Чем больше содержание сферокорунда в смеси, тем больше разупрочнение черепка. Введение сферокорунда в смесь в количестве более 50 % нецелесообразно, так как прочность инструмента уже не обеспечивает его работу даже со скоростью 35 м/с. На рис. 5.42 и 5.43 представлена микроструктура абразивного инструмента из марок 24А и 64С, изготовленного с применением сферокорунда.

Код или номер выпуска

Абразивный круг			АвтоВАЗ				39810
			1	600 × 17 × 305			
14А	16	Т2	7	К20	25 м/с	АА	1 кл
			Номер партии (м/л)	1263/5		Кол-во	2 шт.
Дата выпуска		Укладчик-упаковщик			Контролер ОТК №		

Рис. 5.40. Пример маркировки продукции для АвтоВАЗа:

39810 — код чертежа; 1 — профиль круга; 600 × 17 × 305 — размеры круга (диаметр × × высота × диаметр отверстия), 14А — материал круга; 16 — зернистость, Т2 — твердость; 7 — структура; К20 — связка; 25 м/с — рабочая скорость круга; АА — класс точности; 1263/5 — номер партии

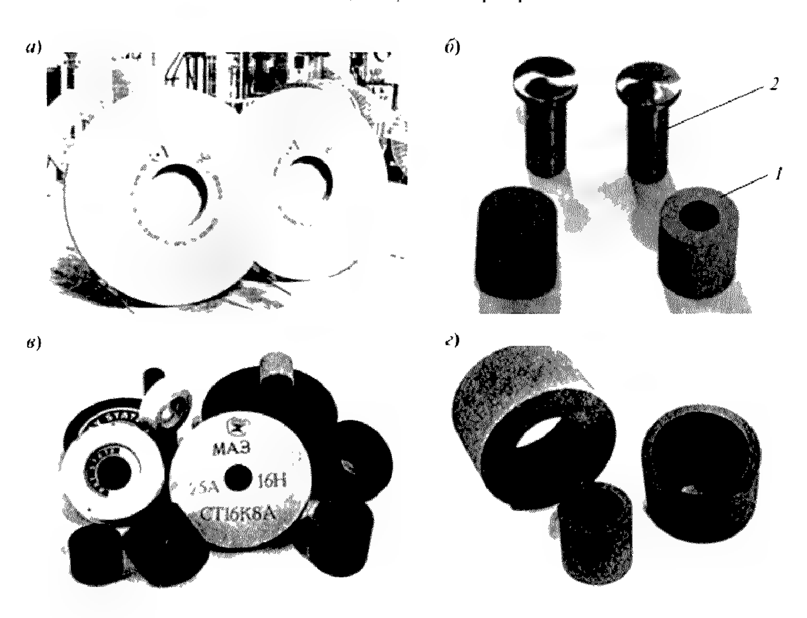


Рис. 5.41. Отдельные виды абразивного инструмента, освоенные промышленностью России, взамен импортного:

а — скоростные круги специального профиля с торцевыми пазами для шлифования шеек коленчатого вала; *б* — круги (*1*) для финишной обработки сферы толкателя клапана (*2*); *в* — инструмент для внутреннего шлифования шестерен; *г* — круги из хромтитанистого электрокорунда для обработки зубьев шестерен

Таблица 5.35

Физико-механические свойства черенков, изготовленных из смеси сферокорунда и электрокорунда

Марка и зернистость шлифматериалов смеси	Процентное соотношение шлифзерна сферокорунда и электрокорунда	Марка связки	Содержание связки, мас. %	Предел прочности черепка при изгибе, МПа	Твердость черепка	
					Глубина лунки, мм	Степень твердости
Сферокорунд ЭС, зернистость 100/ электрокорунды марок 24А, 25А, 91А-М, 92А-М, зернистость 25	75/25 50/50 25/75	К5ПГ К5ПГ К5ПГ	7 7 7	3,5 6,1 13,6	5,89 5,63 6,02	М1 М2 М1
	50/50 25/75	К5ПГ К5ПГ	12 12	13,2 17,8	3,70 3,70	СМ1 СМ1
	50/50 25/75	К5ПГ К5ПГ	17 17	14,8 20,0	5,23 4,82	СМ2 С1
	75/25 50/50 25/75	К5ПГ К5ПГ К5ПГ	22 22 22	11,2 17,2 20,7	4,65 4,47 3,75	С1 С1 С2
	50/50 25/75	К20ПГ К20ПГ	22 22	18,1 22,9	4,02 3,37	С2 СТ1

Примечание. Структура черепка – 8.

Таблица 5.36

Физико-механические свойства черенков, изготовленных из смеси сферокорунда с зеленым карбидом кремния

Марка и зернистость шлифматериалов смеси	Процентное соотношение шлифзерна сферокорунда и зеленого карбида кремния	Марка связки	Содержание связки, мас. %	Предел механической прочности черепка при изгибе, МПа	Твердость черепка по ГОСТ 18118–79	
					Глубина лунки, мм	Степень твердости
Сферокорунд ЭС, зернистость 100/ зеленый карбид кремния 63С, зернистость 25	50/50 50/50 50/50	К10ПГ К10ПГ К10ПГ	30 34 38	5,8 6,3 7,4	3,62 2,83 2,47	СМ1 СМ2 С1
	25/75 25/75 25/75	К10ПГ К10ПГ К10ПГ	30 34 38	8,8 9,7 11,5	2,87 2,07 1,41	СМ2 С1 С2
	50/50 50/50 50/50	К3ПГ К3ПГ К3ПГ	26 34 42	3,1 3,9 6,9	5,40 4,50 3,00	М2 СМ1 М2
	25/75 25/75 25/75	К3ПГ К3ПГ К3ПГ	26 34 42	4,3 8,7 10,4	2,50 2,10 1,90	СМ2 С1 С2

Примечание. Структура черепков – 7.

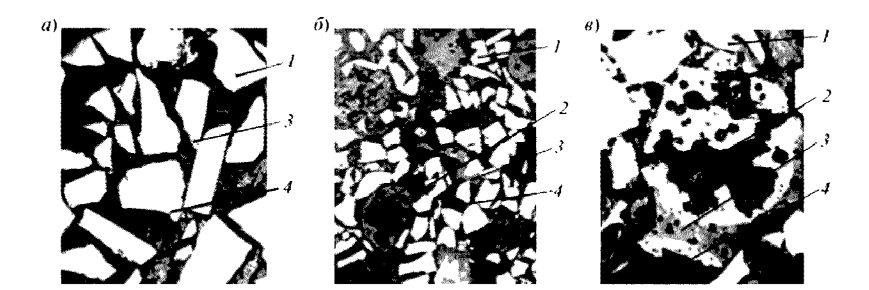


Рис. 5.42. Микроструктура образца из карбида кремния 64С (увеличение ×100):
а — зернистость 16, *б* — зернистость 16 и сферокорунд АС63 в соотношении 75:25, *в* — сфера из АС63 в абразивном инструменте; *1* — зерно, *2* — сфера; *3* — связка; *4* — поры

Рис. 5.43. Микроструктура круга из электрокорунда белого и карбида кремния со сферами (увеличение ×40):
а — 25А — 75 %, АС100 — 25 %, *б* — 25А — 50 %, АС100 — 50 %; *в* — 75 % 64С, 25 % АС100; *г* — 65 % 64С, 10 % 64С6, 25 % АС100; *1* — зерно; *2* — сфера; *3* — связка; *4* — поры

Для определения эксплуатационных показателей инструмента изготавливались абразивные круги типа 1 наружным диаметром от 150 до 400 мм, различных твердостей, с процентным содержанием сферокорунда от 25 до 50 % в смеси с другими шлифовальными материалами зернистостью 40–16. При исследовании эксплуатационных показателей таких кругов определяли коэффициент шлифования, режущую способность и стойкостную наработку.

В процессе шлифования таким кругом по мере разрушения полых частиц образуются поры, которые, с одной стороны, обеспечивают отвод стружки, а с другой стороны, активно участвуют в резании, создавая дополнительный режущий эффект благодаря острым краям стенок разрушения полых сфер, что ведет к повышению производительности при обработке.

В результате испытаний выявлено, что круги с процентным соотношением сферокорунда и белого или хромтитанистого электрокорунда 50 : 50 целесообразно использовать при обработке нержавеющих сталей и сплавов, при этом коэффициент шлифования повышается в 1,4–2,0 раза; при шлифовании конструкционных и инструментальных легированных сталей необходимо использовать круги с процентным соотношением сферокорунда и другого абразивного материала в соотношении 25 : 75, что дает повышение коэффициента шлифования от 1,5 до 2,0 раз.

Применение шлифовальных кругов из смеси сферокорунда и зеленого карбида кремния с процентным соотношением 50 : 50 для обработки цветных металлов (меди, латуни, алюминия) позволяет увеличить коэффициент шлифования в 2,0–2,5 раза. При обработке твердого сплава совместно со сталями марок 9ХС и 45Х кругами из смеси сферокорунда и зеленого карбида кремния с процентным соотношением 25 : 75 коэффициент шлифования возрастает до 1,5 раз.

Наибольший эффект от применения кругов со сферокорундом выявился на операциях, где требуется высокопроизводительное и бесприжоговое шлифование изделий с одновременным снятием повышенного припуска, что, вероятно, обеспечивается дополнительными порами сфер и участием сфер, а точнее, их стенок в процессе резания.

Результаты испытаний кругов с применением сферокорунда на керамической связке при обработке различных материалов приведены в табл. 5.37.

Таблица 5.37

Результаты испытаний кругов с применением сферокорунда на керамической связке при обработке различных материалов

Наименование обрабатываемого материала	Марка обрабатываемого материала	Увеличение коэффициента шлифования по сравнению с ранее применяемым инструментом, разы
Конструкционная легированная сталь	12ХН3А, 20Х3МФШ, 18ХГТ	1,5–2,0
Жаропрочная сталь	Х12М	1,5
Нержавеющая сталь	Х18Н9Т, 4Х13	1,4–1,7
Инструментальная легированная сталь	9ХФ, ХВСГ, 5ХФА	1,3–2,0
Цветные металлы и сплавы	Латунь Л62, медь М3	2,0
Твердые сплавы + стали	ВК8 + 9ХС	1,3–1,5

Примечание. Круги не обеспечивают шероховатость по параметру R_a менее 1 мкм.

Шлифовальные круги из смеси сферокорунда с электрокорундом (белым или хромтитанистым) или зеленым карбидом кремния на керамической связке могут применяться в машино-, приборо-, автомобилестроении и в других отраслях промышленности на операциях плоского и круглого наружного шлифования, круглого врезного шлифования кулачков распределительного вала, круглого шлифования пазов, шлифования уступов торцем круга.

5.6. Абразивные бруски на керамической связке

Абразивные бруски на керамической связке выпускаются по ГОСТ 2456–82 "Бруски шлифовальные. Технические условия" (типы брусков представлены на рис. 5.44), а также по ТУ 3981-24-05748371–97 "Бруски шлифовальные. Технические условия" (типы и размеры брусков представлены на рис. 5.45).

Абразивные бруски на керамической связке изготавливаются двумя методами: методом полусухого прессования и методом литья.

В табл. 5.38 приведены марки и зернистости шлифпорошка различных абразивных материалов, рекомендуемых для изготовления брусков методами полусухого прессования и литья. По заказам потребителей бруски могут изготавливаться и из других шлифовальных материалов, не указанных в табл. 5.38.

Рис. 5.44. Типы абразивных брусков на керамической связке, изготовленных методом полусухого прессования

Рис. 5.45. Типы абразивных брусков на керамической связке, изготовленных методом полусухого прессования и литья

Таблица 5.38

Марки и зернистость шлифматериалов для изготовления брусков

Вид шлифовального материала	Марка	Зернистость	Метод формования
Белый электрокорунд	25А 25А	40–М14 М10–М3	Полусухое прессование Литье
Зеленый карбид кремния	64С 64С	40–М14 М10–М3	Полусухое прессование Литье

Технология изготовления брусков на керамической связке

Метод полусухого прессования. Состав формовочных смесей для брусков зернистостью 40–16 и технология их приготовления аналогичны технологии приготовления смесей для абразивных кругов.

Формовочные смеси из микропорошков зернистостью М63–М14 смешиваются в шаровых или фарфоровых барабанах по рецептуре, пример состава которой приведен в табл. 5.39, с последовательностью загрузки компонентов в шаровой барабан: абразивный материал → связка → сухой декстрин → шары. Время смешивания шихты в шаровом барабане при соотношении массы шаров к формовочной смеси приведены в табл. 5.40.

После смешивания выгружаемая из шарового барабана шихта просеивается через сетку 04, затаривается в бумажные мешки и хранится раздельно по характеристикам.

Увлажнение шихты производится в мешалках любой конструкции. Сначала шихта и вода взвешиваются согласно рецептуре (см. табл. 5.39), затем заливается

Таблица 5.39

Пример рецептуры формовочных смесей для изготовления брусков методом полусухого прессования

Наименование компонента	Степень твердости				
	М3	СМ1	СМ2	С1	С2
Карбид кремния зернистостью М50					
Зерно	100	100	100	100	100
Связка К10	16,0	20,0	21,5	24,0	26,0
Сухой декстрин	3,0	3,9	3,2	2,7	2,5
Вода	2,6	2,6	2,7	2,9	3,0
Структура	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Плотность, г/см^3	1,71	1,76	1,79	1,82	1,91
Белый электрокорунд зернистостью М63					
Зерно	100	100	100	—	—
Связка К5	15,0	10,0	18,0	—	—
Сухой декстрин	3,1	3,5	2,7	—	—
Вода	2,7	0,8	2,8	—	—
Жидкое стекло	—	35	—	—	—
Структура	9,0	8,0	10,0	—	—
Плотность, г/см^3	2,10	2,13	2,15	—	—

Таблица 5.40

Соотношение масс шаров, сухих компонентов и времени смешивания формовочных смесей для брусков

Зернистость абразивного материала	Время смешивания, ч	Соотношение массы шаров и сухих компонентов
40–М63	3,0	1 : 4
М40	3,5	1 : 4
М28	4,0	1 : 4
М20–М14	4,5	1 : 3

вода в дозатор, откуда с помощью сжатого воздуха (давление 1,5–2 атм.) распыляется через форсунку в мешалку. Время увлажнения шихты зависит от зернистости порошков и составляет 35, 45 и 60 мин для порошков зернистостью 40–М63, М40–М28 и М20–М14 соответственно.

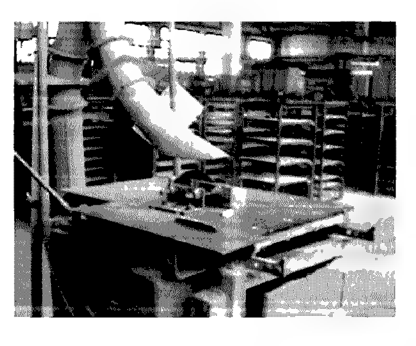


Рис. 5.46. Общий вид станка для распиловки плиток

Для усреднения влажности (2,5–3,0 %) увлажненная смесь протирается через сито и выдерживается в емкости, прикрытой влажной тканью, в течение 2–4 ч.

Формование заготовок производится на гидравлических прессах в прямоугольных пресс-формах различных размеров, например, 210 × 160 × *H*, 160 × 110 × *H* мм (*H* — высота плитки). Для изготовления брусков типа БТ, БКр и БПКр применяются многогнездные пресс-формы, соответствующие профилю бруска.

После формования плитки и бруски типа БТ, БКр и БПКр сушатся при температуре 120±10 °С в камерных проходных сушилах. Высушенные плитки распиливаются на бруски на станке специальной конструкции (рис. 5.46) алмазным кругом на металлической связке по разработанным картам раскроя (рис. 5.47).

Обжиг брусков производится по режимам, аналогичным режимам обжига шлифовальных кругов в щелевых электрических печах при температуре 1250 °С.

Метод литья. Для изготовления суперфинишных брусков методом холодного литья применяются следующие материалы:

микропорошки абразивных материалов;

керамические связки;

крахмал картофельный, сорт высший;

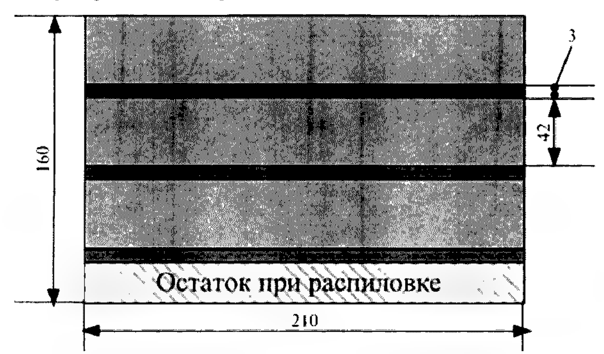


Рис. 5.47. Карта раскроя плитки размером 210 × 160 × 22 мм на заготовки брусков БП размером 40 × 20 × 200 мм

сера элементарная марки ОСЧ 14-4.

Подготовка формовочной смеси для литья производится в два этапа: вначале по рецептуре готовится сухая смесь, а затем шликер.

Приготовление сухой формовочной смеси производится в шаровых барабанах или конверторах различной емкости.

Последовательность загрузки в смеситель: уралитовые шары → микропорошок → связка. Масса загружаемых шаров должна составлять 1/3 от массы сухих компонентов. Время смешивания 30–60 мин. Полученная сухая смесь разгружается в подготовленную емкость отдельно от шаров через сетку 02.

Раствор крахмала приготавливается отдельно, в зависимости от рецептуры концентрация крахмала может быть от 0,25 до 0,8 %. Вначале крахмал разводится в небольшом количестве холодной воды. Полученная взвесь выливается в емкость с кипящей водой при одновременном перемешивании, доводится до кипения и затем охлаждается. Дозирование крахмала и воды весовое.

Для изготовления шликера в специальный конвертор (рис. 5.48) загружаются уралитовые шары диаметром 20–40 мм по ГОСТ 29329–92, затем заливается раствор крахмала в соответствии с рецептурой и постепенно засыпается сухая смесь. Соотношение массы к шарам 3 : 1. Время перешивания 30–40 мин. Влажность шликера 30–35 %. После смешивания из конвертора удаляются шары и производится стабилизация шликера путем дополнительного его перемешивания в течение 5–10 мин, а затем шликер разливается в подготовленные формы-обечайки.

Пример рецептуры для изготовления формовочной смеси методом литья представлен в табл. 5.41.

Отливка заготовок. В качестве форм в отечественной практике вместо гипсовых форм применяются пластмассовые или металлические обечайки размерами 64 × 35 × 160, 64 × 37 × 164 и 60 × 28 × 155 мм. Обечайки смазываются внутри индустриальным маслом и устанавливаются для удаления влаги на пористый кирпич-легковес пористостью 40 %, на который предварительно

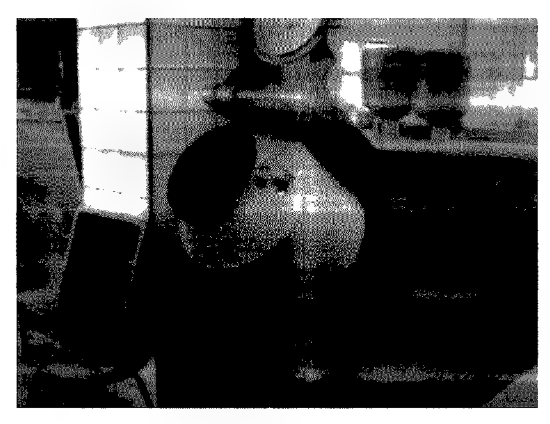


Рис. 5.48. Конвертер для смешивания шликера

Таблица 5.41

Пример рецептуры формовочных смесей для изготовления брусков методом литья

Наименование компонентов	Количество материала, вес. ч.	Рекомендуемая масса загрузки в конвертер, кг
Бруски из карбида кремния марки 64С, зернистость М10, твердость М3-СМ1		
Зерно 64С М10	100	12,0
Связка К3	9,0	1,08
0,5 %-ный раствор крахмала, мл	–	8400
Уралитовые шары	–	6,6
Бруски из белого электрокорунда марки 25А, зернистость М5, твердость СМ1–СМ2		
Зерно 25А М5	100	10
Связка К3	16,0	1
0,25 %-ный раствор крахмала, мл	–	5850
Уралитовые шары	–	6,6

укладываются смоченные водой два слоя фильтровальной бумаги. При разливке струю шликера необходимо равномерно перемещать по длине обечайки. Уровень шликера в обечайке должен быть ниже ее верхнего края на 1–3 мм. Доливать шликер строго запрещается. На рис. 5.49 представлен разлитый в обечайки шликер. Через 24 ч после разливки, когда края тела отлитой заготовки отойдут от стенок обечайки, она снимается с кирпича-легковеса. Снятые обечайки очищаются от остатков смеси, промываются водой, а заготовка через 48 ч зачищается с четырех сторон на глубину до 1 мм ножом и ставится на ребро.

Сушка заготовок. Сушка литых заготовок брусков производится в два этапа: естественная сушка и принудительная сушка.

Естественная сушка заготовок производится в помещении при температуре 25±5 °С и при влажности не выше 70 % в течение 10–20 суток в зависимости от рецептуры. После естественной сушки бруски зачищаются и устанавливаются

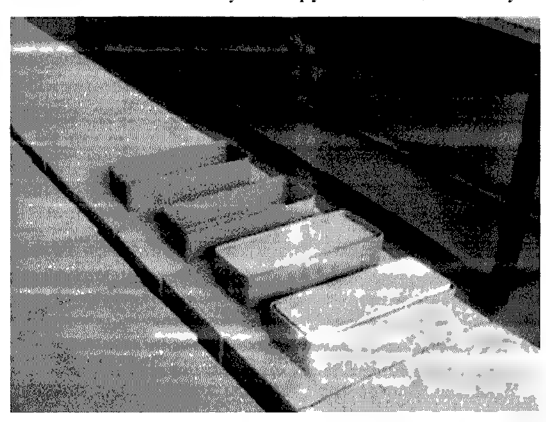


Рис. 5.49. Разливка шликера в обечайки



Рис. 5.50. Постановка плиток на ребро для естественной сушки

на ребро на сушильные плиты (рис. 5.50). Затем сушка брусков производится в сушилах при температуре 100±5 °С. Температура в сушиле при загрузке должна быть 20±5 °С, при разгрузке — не более 30–35 °С. Высушенные заготовки распиливаются на бруски на оборудовании, аналогичном указанному в технологии полусухого прессования, по разработанным картам раскроя (рис. 5.51).

Распиловка отдельных типоразмеров брусков (тонких, мягких и т. п.) производится после обжига.

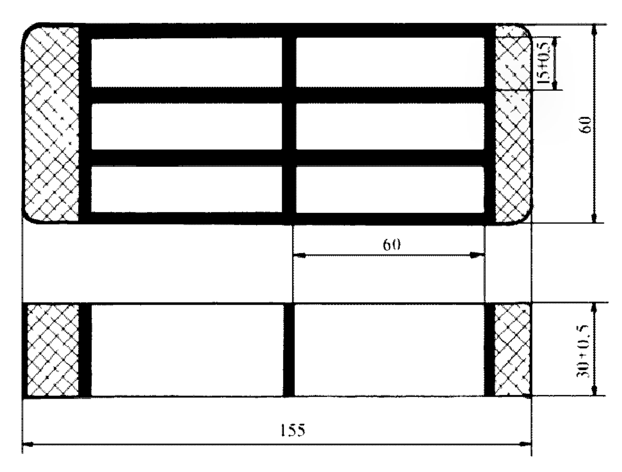


Рис. 5.51. Пример карты раскроя заготовок брусков (63С М10 БП 28 × 13 × 60 — шесть брусков)

Обжиг заготовок брусков осуществляется в электрических камерных печах непрерывного и периодического действия при температуре (1200–1250)±10 °С.

Температурный режим обжига заготовок литых брусков из электрокорунда белого марки 24А и карбида кремния зеленого марок 63С, 64С зернистостями М14–М7 в камерной печи следующий: нагрев в интервалах температур 20–500, 500–1100 и 1100–1230 °С производится в течение 12, 36 и 3 ч соответственно, затем выдержка при 1230 °С в течение 2 ч и последующее естественное охлаждение вместе с печью (28 ч); всего 79 ч на всю кампанию.

После обжига производится механическая обработка брусков на плоскошлифовальных станках, например модели 3Д756, алмазными брусками АПС-2 125 × 14 × 3 630/500 М50. Бруски обрабатываются в металлических кассетах, закрепляющихся на электромагнитной плите станка, затем сушатся и отправляются на контроль. Режимы шлифования обожженных заготовок брусков представлены в табл. 5.42.

В табл. 5.43 представлены некоторые свойства отечественного и импортного инструмента, на рис. 5.52 — структура суперфинишного бруска 24АМ7 М1 отечественного производства.

Пропитка (импрегнирование) брусков серой. В целях увеличения прочности мягких брусков и улучшения эксплуатационных показателей производится

Таблица 5.42

Режимы шлифования обожженных заготовок брусков, изготовленных из различных материалов

Материал, зернистость	Твердость бруска	Размер бруска	Размер кассеты	Число кассет на столе, шт.	Число брусков в кассете, шт.	Машинное время обработки, мин	Скорость движения стола, об./мин	Вертикальная подача, мм/мин
64С М7	М3 М3	25 × 50 × 150 25 × 50 × 150	170 × 152 × 10 170 × 152 × 10	8 8	3 6	20 20	30 30	0,2 0,2
64С М7	СМ1 СМ1	25 × 50 × 150 25 × 50 × 150	170 × 152 × 10 170 × 152 × 10	8 8	3 6	20 20	30 30	0,2 0,2
64С М10	М3 М3	25 × 50 × 150 25 × 50 × 150	170 × 152 × 10 170 × 152 × 10	8 8	3 6	20 20	30 30	0,2 0,2
25А М14	ВМ1 ВМ1	25 × 50 × 150 25 × 50 × 150	170 × 152 × 10 170 × 152 × 10	8 8	3 6	20 20	30 30	0,2 0,2

Таблица 5.43

Некоторые свойства отечественного и импортного инструмента

Свойства инструмента	Фирма Atlantic (Германия)	Фирма Tyrolit (Австрия)	ВНИИАШ
Открытая пористость, %	52,7	53,0	53,99–51,35
Кажущаяся плотность, г/см^3	1,40	1,38	1,43–1,38
Водопоглощение, %	37,7	41,0	37,87–36,80
Прочность на изгиб $\sigma_{изг}$, МПа	1,29	1,17	0,84–1,20

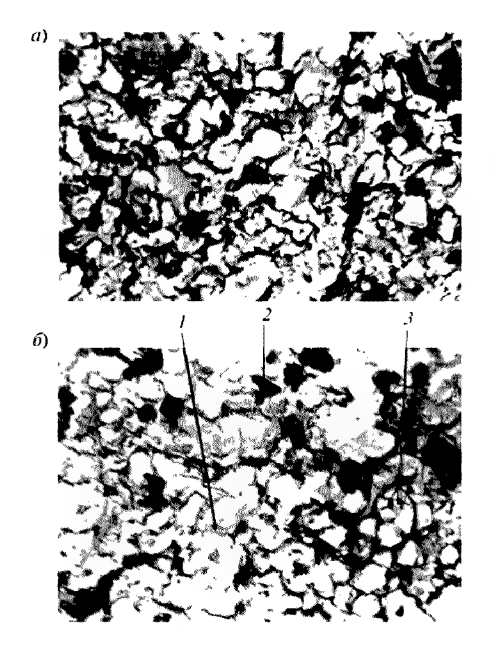


Рис. 5.52. Микроструктура суперфинишного бруска, полученная с помощью электронного микроскопа марки ЭМ-УЭМВ-100К: *а* — участок шлифа, расположенный ближе к его периферии; *б* — участок шлифа, расположенный ближе к его центру: *1* — связка; *2* — поры; *3* — зерно

пропитка брусков [320]. Пропитка брусков серой осуществляется в автоклавах и установках различных конструкций. Конструкция одной из них представлена на рис. 5.53.

Установка для импрегнирования (пропитки) серой представляет собой камеру с электронагревательными блоками, которая оборудована вытяжным колпаком, подключенным к вентиляционной системе. В электронагревательные блоки устанавливаются тигли с серой, снабженные крышками. Над каждым тиглем расположен подъемно-опускающий механизм для корзин с брусками. Управление установкой осуществляется с пульта.

Пропитка серой брусков, прошедших контроль твердости, производится после включения вентиляционной системы в следующей последовательности:

абразивные бруски загружаются в корзины, которые устанавливаются в электронагревательные блоки;

включаются тигли с серой, закрытые крышками, и приготовляется расплав серы;

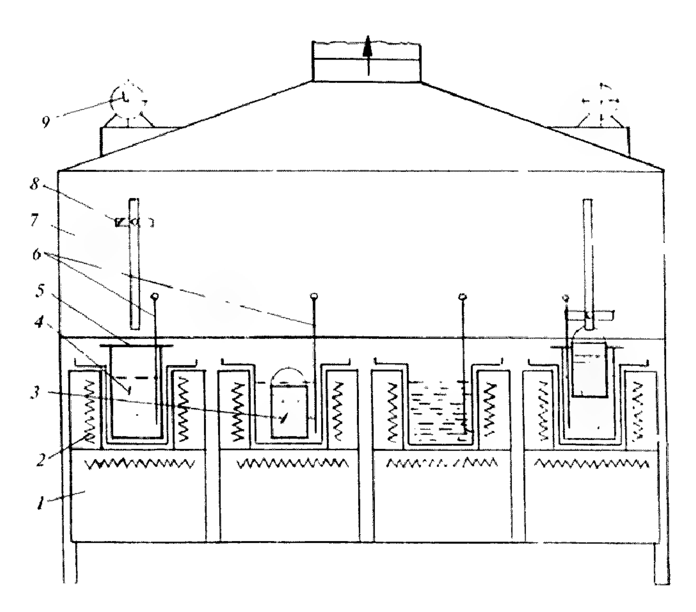


Рис. 5.53. Схема камеры для пропитки брусков серой:

1 — камера; *2* — электронагревательные блоки; *3* — корзина с брусками; *4* — тигель с серой; *5* — крышка тигля; *6* — термопары; *7* — корпус с вытяжным зонтом; *8* — подъемно-спускной механизм; *9* — привод подъемно-спускного механизма

корзины с изделиями постепенно разогреваются до температуры 150—160 °С, при которой выдерживаются 1 ч, затем помещаются на консоль подъемно-спускного механизма *9*, и при открытых крышках тиглей производится опускание корзин в расплав серы со скоростью 1 см/мин. Выдержка в расплаве 1—2 мин. Затем включается подъемный механизм и производится подъем корзин с изделиями из расплава серы со скоростью 5 см/мин;

после окончания подъема корзина с изделиями снимается с консоли, и бруски помещают на сито, где они остывают; поверхность брусков зачищается вручную от налипания серы.

Контроль качества пропитки серой осуществляется визуально по излому двух-трех брусков. Излом не должен иметь участков, не пропитанных серой. Пропитанные и зачищенные бруски укладываются в металлические кассеты или деревянные ящики.

Контроль, маркировка и упаковка брусков. Контроль геометрических размеров и внешнего вида брусков производится в соответствии с ГОСТ 2456—82, а контроль их твердости — по ГОСТ 19202—80 и ГОСТ 25961—83. Контроль твердости производится до пропитки кругов серой. При измерении твердости на приборе типа ТР (Роквелл) степень твердости определяется по значению величины отсчета шкалы индикатора при нагрузке 981 Н шариком диаметром 5 мм (табл. 5.44).

Таблица 5.44

Пример определения степени твердости абразивного инструмента по Роквеллу

Обозначение степени твердости	Материал инструмента	Показания прибора при нагрузке 981 Н и диаметре шарика 5 мм для различных зернистостей по ГОСТ 3647–71		
		12–8	6,5	4 и менее
М2	А	–	> 10–19	> 27–36
	С	–	–	36–43
СМ2	А	> 13–24	> 36–45	> 55–65
	С	> 20–34	> 58–70	>63–73
СТ1	А	> 44–54	> 65–73	> 81–87
	С	> 54–63	> 85–91	> 88–95

Примечание. А — электрокорунд, С — карбид кремния.

При проверке брусков конкретных размеров акустическим методом на приборе "Звук 107" по цифровому табло частотомера фиксируется значение частоты *f* (кГц) при максимальном резонансе, а затем с помощью градуировочной таблицы переводится в значение ЗИ.

Пример использования акустического метода контроля брусков на приборе "Звук 107" представлен в табл. 5.45.

Таблица 5.45

Пример акустического метода контроля на приборе "Звук 107"

Размер брусков			Частота *f* / звуковой индекс		
Ширина	Высота	Длина			
8	18	50	20,40 / 19	22,40 / 21	24,50 / 23
25	25	48	20,62 / 19	22,68 / 21	24,74 / 23
9	11	100	10,70 / 21	11,77 / 23	13,91 / 25
40	20	150	6,66 / 19	7,33 / 23	8,66 / 25

Маркировка брусков производится по ГОСТ 2456−82 штемпельной жидкостью, обеспечивающей сохранность знаков маркировки в процессе транспортирования и эксплуатации.

Пример условного обозначения шлифовального бруска: БП 20 × 16 × 150 24А8СМ2 К8А ГОСТ 2456−82, где БП — тип бруска, 20 — ширина бруска *B*, 16 — высота *T*, 150 — длина *L*, 24А — белый электрокорунд, 8 — зернистость, СМ2 — твердость, К — керамическая связка, 8 — структура, А — класс точности.

Упаковка готовой продукции производится в соответствии с ГОСТ 2456−83. Бруски упаковываются в бумагу или коробку, перевязываются шпагатом. Сверху наклеивается упаковочный лист, на котором указаны характеристики брусков, твердость, дата упаковки. Вес упаковки не должен превышать 7 кг.

Специальные виды абразивных брусков

Авторами [321] для наружного хонингования сферических поверхностей большого размера диаметром от 50 до 1060 мм, осуществляемого на специальных станках по схеме пересекающихся осей вращения инструмента и обрабатываемой детали, разработан комплект специальных брусков. Бруски БКВ размерами 250 × 40 и 250 × 50 мм изготавливались методом полусухого прессования из электрокорунда белого марки 25АМ14 на керамической связке марки К20 со звуковым индексом ЗИ 23–37.

Сопоставление результатов испытаний абразивных брусков по разработанной технологии с импортными брусками фирм Carborundum и Atlantic (табл. 5.46) свидетельствует о высокой эффективности наружного хонингования сферических поверхностей отечественными брусками. Бруски с характеристиками 24АМ14 ЗИ 27–35 К20 превосходят импортные по стойкости в 1,2–1,6 раза и по производительности в 1,1–1,3 раза при соблюдении необходимых требований к шероховатости обработанной поверхности изделий.

Авторами [322] для суперфиниширования дорожек качения колец высокоточных роликовых подшипников класса точности 2–4 разработана и освоена технология изготовления супермягких абразивных брусков методом литья.

Решение задачи получения супермягких брусков шликерным способом формования с устранением неравномерности по твердости осуществлялось путем повышения содержания связки для улучшения устойчивости шликера, а необходимая низкая твердость (высокая пористость) брусков достигалась путем введения микронаполнителя КФ (тонкомолотых фруктовых косточек), который при выгорании создавал пористую структуру. Введение легкого микронаполнителя

Таблица 5.46

Результаты сравнительных испытаний отечественных и импортных брусков

Тип, размеры (мм) и характеристика брусков	Режим обработки			Твердость брусков		Шероховатость	Установленная наработка комплекта брусков, дет.
	Частота вращения, мин⁻¹		Давление, МПа	Показания прибора «Роквелл»	Звуковой индекс		
	головки	детали					
Бруски зарубежного производства							
БКВ 150 × 20 × 20	400	140	40	-10...12	-	0,54–0,63	9–10
БКВ 150 × 25 × 25	250	140	100	-10...12	–	0,52–0,64	8–10
БКВ 250 × 50 × 50	30	20	200	-10...12	-	1,12–1,24	6
Бруски отечественного производства							
БКВ 150 × 20 × 20 25А 14 К20 ЗИ27-35	400	140	40	–	31	0,55–0,62	10
				–	35	0,52–0,59	15
				–	37	0,52–0,57	16
БКВ 150 × 20 × 20 25А 14 К20 ЗИ27-35	250	140	100	–	27	0,54–0,63	9
				-	31	0,52–0,61	10
				-	33	0,51–0,58	12
БКВ 250 × 50 × 50 25А14 К20 ЗИ27-35	30	20	200	-	31	1,09–1,21	7
				–	33	1,08–1,17	8

также способствовало повышению устойчивости шликера и сокращению длительности его перемешивания от 6 до 1 ч.

При оценке качества супермягких брусков существующими методами было установлено, что их твердость при определении на приборе "Роквелл" по ГОСТ 19202–80 шариком диаметром 5 мм при нагрузке 981 Н колебалась от минус 20 до минус 70 единиц и была значительно меньше нижнего предела шкалы для определения твердости по ГОСТу. В связи с этим основным методом для определения качества супермягких брусков был признан акустический метод контроля твердости на приборе "Звук 107".

Таблица 5.47

Результаты сравнительных испытаний отечественных и импортных брусков

Типоразмер и характеристика брусков	Тип кольца роликового подшипника	Съем металла, мм	Износ бруска на одно кольцо, мм	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мм
БП 13 × 20 × 70				
EK800/06/100/S (фирма Atlantic, Германия)	3182112/01	5–6	0,02	0,06
24A M14 3И29–33 K3M КФ Л AS (Россия)	3182112/01	9–10	0,015–0,020	0,06
БП 13 × 20 × 70				
EK800/06/100/S (фирма Atlantic, Германия)	3182113/01	5–6	0,02	0,06
24A M143И29–33 K3M КФ Л AS (Россия)	3182113/01	9–11	0,015–0,020	0,06
БП 13 × 20 × 70				
EK800/06/110/S (фирма Atlantic, Германия)	3182126/02	5	–	0,06
24A M14 3И29–33 K3M КФ Л AS (Россия)	3182126/02	5–6	0,03	0,05–0,06

В табл. 5.47 представлены сравнительные результаты испытаний отечественных и импортных брусков на одном из подшипниковых заводов России, из которых следует, что отечественные бруски по показателям работы не уступают импортным.

Технология изготовления брусков за рубежом

Практически все зарубежные фирмы изготавливают бруски на керамической связке [фирмы Malimab (Италия), Tyrolit (Австрия), Atlantic (Германия), Norton (США), Noritake (Япония) и др.] различного профиля и характеристик (рис. 5.54–5.56) высокого качества.

Для изготовления брусков применяют методы полусухого прессования и холодного литья. Отличительной особенностью зарубежной технологии от отечественной является такое аппаратурное оформление технологического процесса, когда отдельные операции на фирмах (смешивание формовочных смесей, формование изделий, отливка заготовок, разрезка и др.) осуществляются в автоматическом цикле.

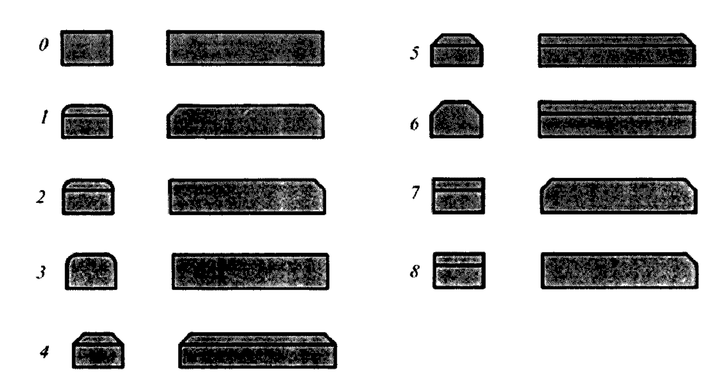


Рис. 5.54. Бруски для хонингования зарубежных фирм:
0–8 — виды профилей брусков

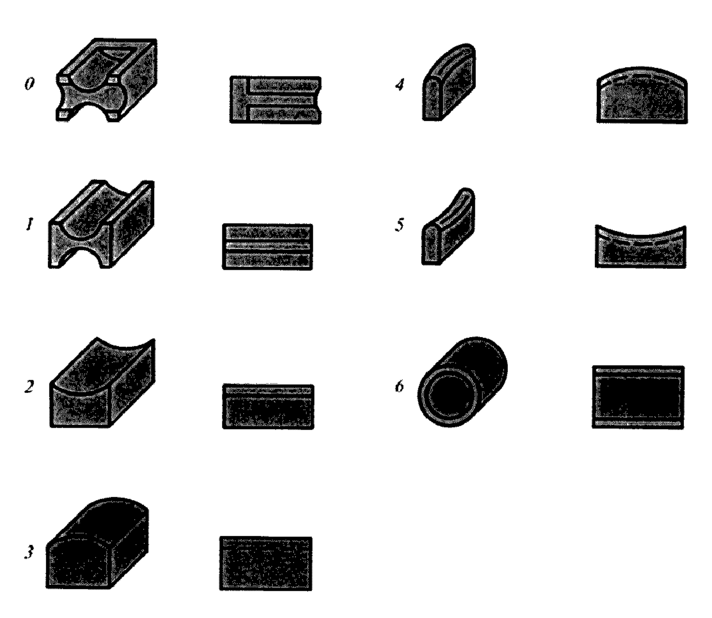


Рис. 5.55. Бруски зарубежных фирм для суперфиниширования:
0–6 — виды профилей брусков

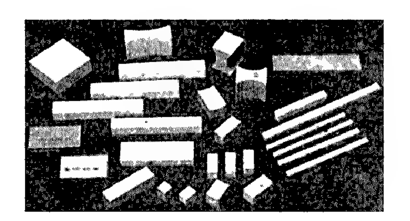


Рис. 5.56. Бруски для суперфиниширования различных зарубежных фирм

Разрезка брусков, как правило, производится после обжига заготовок (плиток), которые накапливаются на складе и разрезаются по мере необходимости.

Области применения брусков

Бруски, изготовленные из белого электрокорунда и зеленого карбида кремния, зернистостью 16–М40 применяются при хонинговании, а зернистостью М40–М17 — при суперфинишировании. Показатели качества брусков представлены в ГОСТе и технических условиях, приведенных выше. В качестве примера в табл. 5.48 приводятся эксплуатационные показатели брусков из зеленого карбида кремния при режимах хонингования, суперфиниширования (табл. 5.49) и показатели качества литых брусков при суперфинишировании (табл. 5.50).

5.7. Абразивный инструмент на магнезиальной связке

Абразивный инструмент на магнезиальной связке в настоящее время применяется для обработки природного камня на операциях черного, среднего и чистового шлифования изделий из гранита, лабрадорита, габбро и других пород как с водяным охлаждением, так и без охлаждения. Участки по производству этого вида инструмента в основном организованы на камнеобрабатывающих предприятиях, на небольших фирмах России и других стран СНГ. Выпускается инструмент в виде прямого профиля диаметром до 500 мм и в виде сегментов.

Технология изготовления кругов на магнезиальной связке

Исходными материалами для производства инструмента на магнезиальной связке служат:

абразивное зерно — карбид кремния черный, может использоваться зеленый или их смесь по ГОСТ 26327–84, нормальный электрокорунд по ГОСТ 28818–90Е; зернистость абразивных материалов — по ГОСТ 3647–80;

материалы для магнезиальной связки в виде каустического магнезита по ГОСТу и раствора хлорида магния, образующих при растворении (смешивании) тесто, твердеющее на воздухе, — магнезиальный цемент.

Таблица 5.48

Эксплуатационные показатели качества брусков из зеленого карбида кремния на керамической связке при режиме хонингования

Зернистость	Режущая способность, мм³/(мин·мм²), не менее, для брусков степени твердости		Коэффициент шлифования *K*, не менее, для брусков степени твердости		Шероховатость обработанной поверхности по ГОСТ 2789-73 R_a, не более
	СМ2	С2	СМ2	С2	
16	14,5	16,0	1,8	3,0	2,60
12	12,3	14,0	1,6	2,8	2,00
10	8,8	10,6	1,3	2,1	1,60
8	6,0	7,8	1,0	1,7	1,25
6 (М63)	3,5	5,2	0,7	1,3	1,00
5 (М50)	2,9	4,0	0,7	1,1	0,80
4 (М40)	2,0	2,9	0,7	0,95	0,63

Таблица 5.49

Эксплуатационные показатели качества брусков из зеленого карбида кремния на керамической связке при режиме суперфиниширования

Зернистость	Режущая способность, мм³/(мин·мм²), не менее, для брусков степени твердости		Коэффициент шлифования *K*, не менее, для брусков степени твердости		Шероховатость R_a обработанной поверхности по ГОСТ 2789-73, мкм, не более
	М3	СМ2	М3	СМ2	
М40	1,2	1,4	0,11	0,28	0,50
М28	0,8	1,1	0,09	0,25	0,32
М20	0,6	0,9	0,08	0,18	0,16
М14	0,4	0,6	0,08	0,16	0,125
М10	0,3	0,6	0,05	0,14	0,10
М7	0,3	0,5	0,05	0,12	0,08

Таблица 5.50

Эксплуатационные показатели качества литых брусков из электрокорунда белого при суперфинишировании

Характеристика бруска	Снимаемый припуск на диаметр при исходной шероховатости, мм, не менее		Установленная наработка деталей на 1 мм износа бруска, не менее	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм, не более, по ГОСТ 2789-73
	R_a = 0,20–0,25 мкм	R_a = 0,26–0,32 мкм		
БП 13 × 20 × 70 24А М14 ЗИ31-33 К3М	0,005	0,007	25	0,08
БП 13 × 20 × 70 24А М14 ЗИ31-33 К3М	0,005	0,007	25	0,08
БКВ 10 × 70 24А М14 ЗИ33-37 К3М	0,005	0,007	25	0,14

Каустическим магнезитом называют умеренно обожженную (не доведенную до спекания) горную породу, состоящую почти исключительно из минерала магнезита. Природный магнезит, или горький шпат, представляет собой карбонат магния, его теоретический состав: 47,6 % MgO, 52,4 % CO_2. В природе магнезит встречается чаще всего в двух видах — кристаллическом (белого, серого и желтого цветов) и аморфном (белого цвета). Постоянством состава отличаются магнезиты Сaткинского и Халиловского месторождений (Россия), их химический состав, вес. %: MgO 43,3−47,4, SiO_2 0,02−4,7, $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 0,1−3,5, CaO 0,2−4,7, п. п. п. 49,5−52,3.

Для получения каустического магнезита из природного последний подвергается обжигу во вращающихся или других печах при температуре 800—850 °С. В процессе обжига происходит разложение $MgCO_3$. Обожженный природный магнезит измельчается до 200 мкм и в таком виде поступает в производство абразивных изделий на магнезиальной связке в закрытой таре (ввиду его гигроскопичности).

Одним из основных свойств измельченного каустического магнезита является его способность с растворами солей $MgCl_2$, $CaCl_2$, $ZnCl_2$ и $MgSO_4$ давать схватывающееся и твердеющее на воздухе тесто с образованием прочных камнеподобных масс.

Технические характеристики каустического магнезита

Плотность, г/см^3	3,1−3,4
Химический состав, %:	
MgO	83,0−87,0
CaO	1,8−2,5
SiO_2	1,8−2,5
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	≈2,0
H_2O	1,5
Потери при прокаливании, п. п. п.	6,0−8,0

Начало схватывания магнезита — не ранее 20 мин, а конец — не ранее 2 ч 30 мин от начала затворения. Механическая прочность на разрыв после вылеживания в течение 24 ч должна быть не менее 2,5 МПа.

Хлорид магния — кристаллогидрат состава $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, легко растворяющийся в воде и плавящийся при температуре 112 °С. В природе встречается в залежах калийных солей (Соликамские залежи), в морских и озерных водах, а также в водах многих источников.

Основные характеристики хлорида магния: содержание хлористого магния — не менее 45 %, примесей солей $CaCl_2$, KCl, $NaCl$ — не более 2,5 %, сернокислых солей $MgSO_4$ и $CaSO_4$ — не более 2 %.

При приготовлении абразивно-магнезиальных формовочных смесей хлорид магния применяется в виде раствора, который готовят растворением дробленого хлорида магния в горячей воде при 60−70 °С в соотношении 59,2 % $MgCl_2$ и 40,8 % H_2O. Плотность раствора должна быть не ниже 1,27−1,28 г/см^3, температура — не выше 25 °С.

В целях производственной санитарии и техники безопасности при приготовлении раствора хлорида магния необходимо соблюдать следующие условия: помещение, где происходит приготовление раствора, должно быть изолирова-

но от других производственных помещений; при ручном перемешивании хлорида магния с водой (деревянным веслом) следует проявлять необходимую осторожность и работу производить в защитных очках, резиновой обуви и т. п., такими же мерами предосторожности следует пользоваться и при дроблении кристаллического $MgCl_2$.

Процесс цементации. Процесс цементации абразивных зерен магнезиальной связкой основан на способности каустического магнезита (активного оксида магния), увлажненного раствором хлорида магния, давать тесто, твердеющее на воздухе. Реакция протекает со значительным выделением тепла. Магнезиальная связка (магнезиальный цемент) схватывается довольно быстро и достигает значительной механической прочности. Химическое твердение происходит по реакции Байкова $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$ — реакции образования гидроксида магния в присутствии $MgCl_2$. При употреблении концентрированных растворов $MgCl_2$ схватывание и твердение замедляются, но конечная механическая прочность получается более высокой. Механическая прочность на разрыв вначале растет относительно быстро, затем рост замедляется и приостанавливается после 28 суток. Оптимальная температура вылеживания формовочной смеси — примерно 35 °С.

Авторами [323, 324] при использовании рентгенофазового анализа затвердевших магнезиальных оксихлоридных связок установлено, что в них помимо избыточной MgO могут содержаться следующие продукты: $Mg_5(OH)_5Cl{\cdot}4H_2O$ (фаза 5), $Mg_2(OH)_3Cl{\cdot}4H_2O$ (фаза 3), $Mg(OH)_2$, $Mg_{10}(OH)_{18}Cl{\cdot}5H_2O$, $MgCl_2{\cdot}H_2O$. Состав продуктов твердения зависит от соотношения магнезитового порошка (М), раствора хлорида магния (РХМ), плотности раствора хлорида магния и срока твердения цемента. При снижении плотности раствора хлорида магния ниже 1,27 г/см^3 (уже при плотности 1,25 г/см^3) отмечается появление в продуктах твердения свободного гидроксида магния $Mg(OH)_2$, количество которого растет при дальнейшем снижении плотности раствора хлорида магния. Отмечено, что низкая плотность раствора хлорида магния приводит к более быстрому затвердеванию цементных образцов.

При использовании раствора хлорида магния любой плотности были выявлены следующие закономерности: в затвердевших цементных образцах фаза 3 обнаруживалась в смеси с фазой 5 только при максимальном (1,6) либо близком к нему соотношении магнезитовый порошок : раствор хлорида магния; в продуктах твердения цементов с минимальным (1,0) соотношением магнезитовый порошок : раствор хлорида магния фазы 3 обнаружено не было; при дальнейшем хранении цементных образцов в них происходит переход фазы 5 в фазу 3.

Следует подчеркнуть, что в производстве абразивного инструмента используются магнезиальные связки, отличающиеся достаточно высокими прочностными свойствами (механическая прочность магнезиального цемента после его затвердевания в течение суток на воздухе достигает 30–70 МПа). Максимальная прочность цементных растворов при длительном хранении составляет 60,0–100,0 МПа. К моменту испытания инструмента (срок твердения — четыре недели) цементные образцы набирают 70–80 % максимальной твердости.

Процесс производства абразивных изделий на магнезиальной связке представлен на рис. 5.57 и состоит из трех основных операций: приготовление формовочных смесей, формование изделия и его вылеживание или сушка (твердение изделия).

В зависимости от значения соотношения Mg : $MgCl_2$ (раствор) в применяемой связке формуемые смеси должны быть жидкими, полужидкими и полусухими (чем больше значение этого соотношения, тем суше смеси). Вследствие этого способы формования различны: жидкие смеси формуются литьем, а полусухие — прессованием.

Пример рецептур абразивных смесей, которые используются в настоящее время предприятиями, выпускающими круги на магнезиальной связке, представлены в табл. 5.51 [70].

Твердость магнезиальных абразивных изделий, в частности, для прессования регулируется количеством связки, состоящей из MgO и раствора $MgCl_2$ в определенном их соотношении. Так, для получения высоких твердостей количество связки должно быть увеличено, для мягких твердостей — уменьшено, при увеличении номера зерна в целях получения той же твердости, количество связки должно быть увеличено, т. е. регулирование твердости кругов на магнезиальной связке осуществляется на основе тех же положений, что и при изготовлении изделий на керамической связке.

Составные части формовочной смеси, в соответствии с рецептом, дозируются по весу, а раствор хлорида магния — по объему. Смешивание может осуществляться в мешалках любых конструкций до получения смеси однородного состава. При этом соблюдается следующий порядок загрузки: абразивное зерно увлажняется раствором части хлорида магния примерно 4 л на 100 кг зерна, затем вводится каустический магнезит и выливается остальная часть хлорида магния. При смешивании смеси происходит ее разогревание, что является нежелательным во избежание преждевременной цементации.

Для формования полужидких масс обычно используют сборные формы (металлические или деревянные), состоящие из наружных и внутренних колец и плиты (рис. 5.58). Приготовленная формовочная смесь укладывается в форму слоями, равными по массе. Каждый слой массы равномерно распределяется в форме, предварительно смазанной маслом (например, тавотом), и затем утрамбовывается пневматической трамбовкой, работающей при помощи сжатого воздуха, подаваемого от компрессора. Во время укладки массы в форму, благодаря продолжающемуся выделению тепла в ней, могут образоваться пузырьки-вздутия, заполненные воздухом, газом CO_2 или паром. Во избежание этого отформованные изделия прокалывают с торцевой стороны металлической иглой, вновь утрамбовывают, сглаживают поверхность и выдерживают в формах 3–8 ч, в течение которых происходит схватывание цемента, дающего возможность после снятия формы свободно перенести круги на вылеживание.

Формование жидких формовочных смесей также производится в разъемных формах, установленных в строго горизонтальном положении. Перед заполнением формы массу рекомендуется выдержать до загустения, перемешивая ее периодически во избежание осаждения абразивного зерна. Загустевшую

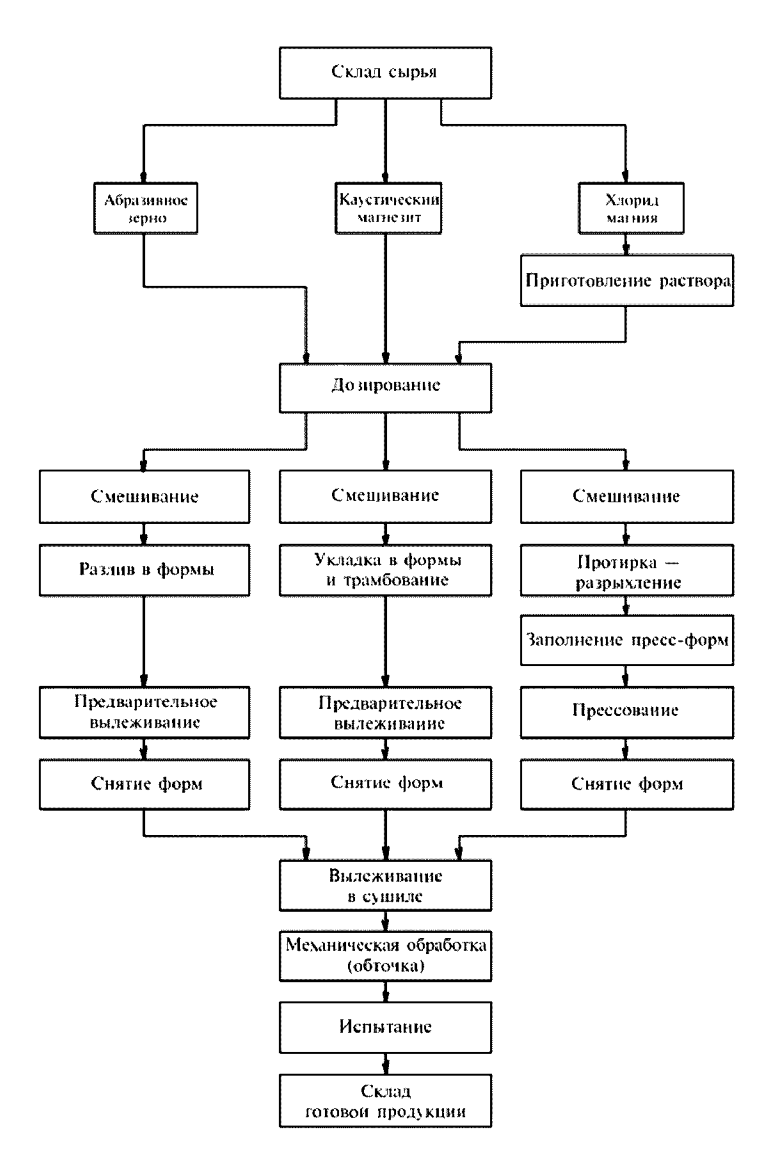


Рис. 5.57. Схема технологического процесса изготовления абразивного инструмента на магнезиальной связке

Таблица 5.51

Примеры рецептур абразивных смесей для изготовления абразивных кругов на магнезиальной связке

Разработчик инструмента	Содержание компонентов, мас. %									
	Шлифовальный материал			MgO	$MgCl_2$	Опилки древесные	Бакелит жидкий	ГКЖ-94	Перлит	Порошок алюминиевый
	54С 63	54С 20–25	54С 12							
Кондопожский камнеобрабатывающий завод (ККОЗ)	100		–	106	79	5				–
	–	100	–	106	80	5	–	–	–	–
	–	–	100	133	90	5	–	–	–	–
Газалкентский камнеобрабатывающий комбинат (ГКОК)	100	–	–	105	80	–	7,5	–	–	2,5
	–	100	–	110	82	–	7,5	–	–	2,5
	–	–	100	136	100	–	8,5	–	–	2,5
Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий (НИИСМИ)	100		–	106	79			1,0	–	–
	–	100	–	106	80	–	–	1,0	–	–
	–		100	133	100	–		1,3	–	–
Всесоюзный заочный инженерно-строительный институт (ВЗИСИ)	100	–	–	91	71	–	–	–	23	–
	–	100	–	89	74	–	–	–	22	–
	–		100	109	96	–	–		27	–
Институт химии и технологии редкоземельных элементов и минерального сырья Кольского филиала РАН (ИХТРЭМС)	100	–		66	39				–	–
		100	–	66	41					–
		–	100	150	80		–			–
Волжский филиал ВНИИАШа	100	–	–	150	87	–	–	–	–	–
	–	100	–	156	92	–	–	–	–	–
	–	–	100	170	110	–	–	–	–	–

вязкую массу сливают в форму, заполняя ее до определенной высоты, сглаживают поверхность при помощи шпателя-гладилки, покрывают бумагой или тканью и в таком виде оставляют ее до полного схватывания цемента.

Полусухие формовочные смеси готовятся и формуются аналогично абразивным керамическим массам при использовании тех же пресс-форм и прессов. При полусухом прессовании и при формовании полужидких смесей для увеличения их прочности внутрь круга запрессовываются металлические кольца (арматура). После формования круги транспортируются на стеллажи для предварительного вылеживания (6—8 ч), а затем переносятся для окончательного вылеживания.

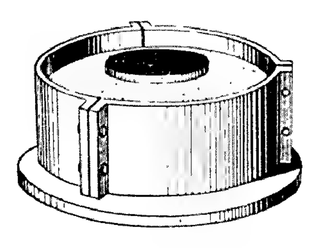


Рис. 5.58. Форма с затрамбованной абразивно-магнезиальной смесью

Вылеживание. При вылеживании магнезиальных кругов происходит нарастание механической прочности, которая достигает максимума по истечении 28—30 суток; повышение температуры до 40—50 °С обеспечивает ускоренное твердение.

Этот процесс может осуществляться в камерных или других сушилах, куда стопками или на ребро устанавливаются круги так, чтобы между кругами была обеспечена циркуляция нагретого воздуха. После вылеживания круги подвергаются механической обработке и затем испытываются на механическую прочность. Хранение готовой продукции производится в теплом сухом проветриваемом помещении, так как другие условия приводят к снижению прочности изделия.

В табл. 5.52 представлены данные по прочности образцов на изгиб ($\sigma_{изг}$) и сжатие ($\sigma_{сж}$), изготовленных с применением указанной рецептуры, при различных сроках их хранения, которые показывают, что прочность материала после 40 суток со дня изготовления стабилизируется; после 80—100 суток

Таблица 5.52

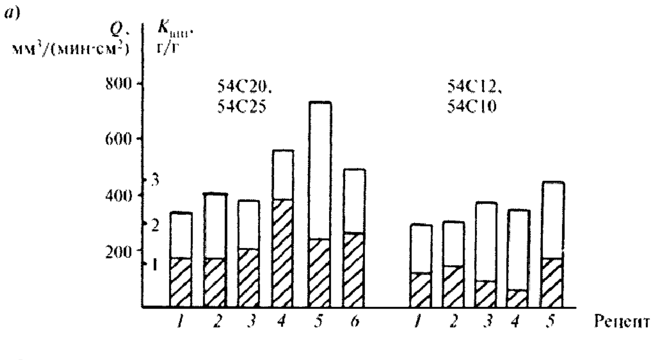
Предел прочности образцов на магнезиальной связке при различных сроках их хранения

Организация	Пределы прочности образцов, МПа						Изменение прочности за период хранения, %	
	через 40 суток		через 80 суток		через 230 суток			
	$\sigma_{изг}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{изг}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{изг}$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{изг}$	$\sigma_{сж}$
ККОЗ	13	33	16	31	14	26	+8	-21
ГКОК	12	33	13	38	10	42	-16	+27
НИИСМИ	18	32	19	28	16	16	-11	-50
ВЗИСИ	19	48	17	55	15	40	-21	-17
ИХТРЭМС	19	48	17	53	17	42	-10	-12
ВолжскВНИИАШ	18	38	25	47	19	46	+5	+21

прочность начинает уменьшаться, что необходимо учитывать при эксплуатации инструмента.

Результаты производственных испытаний шлифовальных сегментов на магнезиальной связке с использованием рецептуры, показанной в табл. 5.51, изготовленных методом литья и представленных на рис. 5.59, позволили авторам сделать следующие выводы.

Показатели режущей способности инструментов всех характеристик зернистостью 25 при обработке гранита Севасайского месторождения в целом значительно ниже, чем при обработке гранита месторождения Возрождение, что



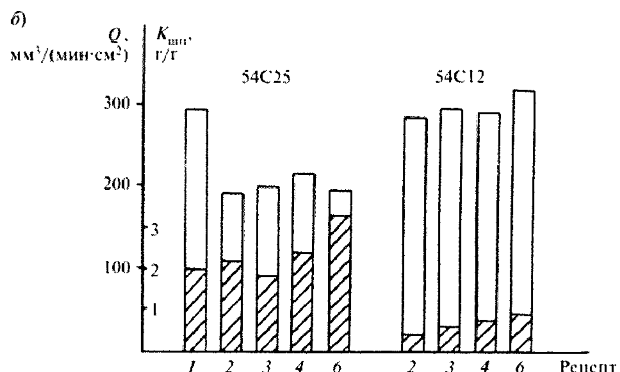


Рис. 5.59. Режущая способность Q и коэффициент шлифования $K_{шл}$ инструмента различных зернистостей и рецептур при обработке гранита месторождений Возрождение (*а*) и Севасайское (*б*):

▭ — режущая способность Q, мм³/(мин·см²),
////// — коэффициент шлифования $K_{шл}$, г/г;
рецептуры: *1* — ККОЗ; *2* — ГКОК; *3* — НИИСМИ; *4* — ВЗИСИ; *5* — ИХТРЭМС; *6* — ВолжскВНИИАШ

объясняется большим содержанием твердых кварцевых включений в граните первого месторождения. Высокие значения коэффициента шлифования указывают на небольшой расход инструмента.

Сравнительно высокая режущая способность абразивного инструмента на магнезиальной связке зернистостью 10–12, предназначенного прежде всего для тонкого шлифования. Уменьшение размеров абразивных зерен способствует более интенсивному удалению изношенных абразивных частиц вместе со связкой и лучшему восстановлению рабочей поверхности инструмента. В этом случае степень твердости обрабатываемого материала гораздо меньше влияет на скорость съема, однако повышается износ инструмента, и следовательно, снижается коэффициент шлифования.

При шлифовании труднообрабатываемых гранитов использование мелкозернистого инструмента может быть более эффективным, чем инструмента с крупным зерном.

Для обеспечения износостойкости и увеличения производительности инструмента необходимо регулировать структуру круга путем введения различных наполнителей, позволяющих повысить ударную прочность инструмента, снизить трение и увеличить пористость для улучшения охлаждения и отвода диспергированного в процессе обработки материала.

5.8. Высокоструктурный абразивный инструмент

К высокоструктурному абразивному инструменту относят инструмент, в котором уменьшено объемное содержание зерна по сравнению с инструментом рациональных структур (см. гл. 1, табл. 1.9).

Для получения заданной твердости в инструменте с повышенной структурой увеличивается количество связки по сравнению с обычным кругом.

Примером такой рецептуры по сравнению с рациональной может служить формовочная смесь для изготовления круга из 25А40 твердостью СМ1:

	Рациональная структура 5	**Повышенная структура 8**
Зерно, вес. ч.	100	100
Связка К5, вес. ч.	6,0	10,0
Жидкое стекло, вес. ч.	2,9	4,5
Сухой декстрин, вес. ч.	2,2	2,0
Обьемный вес, г/см^3	2,28	2,18

При повышении структуры уменьшается масса круга (так как уменьшается объемный вес формовочной смеси), и, несмотря на увеличение количества связки в круге, пористость его увеличивается на 5–6 %.

Электрокорундовые круги высоких номеров структуры по сравнению с обычными шлифовальными кругами обладают повышенной производительностью и стойкостью. Они рекомендуются для тех операций шлифования, где требуются круги мягкие, но кромкостойкие, главным образом для профильного шлифования. Стойкость и удельная производительность высокоструктурных кругов по сравнению с обычными кругами повышается в 1,5–2 раза. Кроме того, круги позволяют повысить рабочую скорость до 50 м/с и улучшить

Таблица 5.53

Характеристики высокоструктурных кругов и области их применения

Характеристика круга	Вид шлифования	Обрабатываемый материал
25А 40–25 М3–СМ1 К5 8	Предварительное шлифование профиля зубьев шеверов, *М* = 2–5	Р9Ф5, Р9К10
25А 16 М3–СМ1 К5 8	Окончательное шлифование профиля зубьев шеверов, *М* = 2–5	Р9Ф5, Р9К10
25А 25–16 СМ1–СМ2 К5 8	Окончательное шлифование торцов шеверов, заточка сборных фрез "Глиссон"	Р9Ф5, Р9К10
25А 25 СМ1–СМ2 К5 8	Заточка червячных фрез, шлифование торцов червячных фрез	Р18
25А 40–25 М3–СМ1 К5 8	Шлифование шлицевых протяжек	Р12, Р18, Р9, ХВГ
25А 16 С2 К5 10	Заточка шлицевых протяжек	Р18, Р9
25А 25 СМ1 К5 8	Заточка зенкеров	Р18
25А 16 М3–СМ1 К5 8	Заточка разверток	Р18

режимы обработки. В табл. 5.53 приведены характеристики высокоструктурных кругов и области их применения.

Глава 6

ПРОИЗВОДСТВО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА БАКЕЛИТОВОЙ СВЯЗКЕ

Выпуск абразивного инструмента на бакелитовой связке в России составляет около 40 % от объема выпуска всего абразивного инструмента. Абразивный инструмент на бакелитовой связке предназначен в основном для операций обдирочного высокопроизводительного шлифования, разрезки и прорезки, т. е. таких видов абразивной обработки, при которых снимается большое количество металла в единицу времени. В соответствии с этими требованиями должны подбираться как применяемые в инструменте абразивные материалы, так и связки.

Абразивный инструмент на бакелитовой связке изготавливается с широким диапазоном зернистости и твердости. Основное количество типоразмеров инструмента изготавливается на порошкообразном бакелите ("пульвербакелите"); на жидком бакелите изготавливаются отдельные виды шлифовальных сегментов, а также круги типов 36, ПР и др.

6.1. Исходные материалы

Для производства инструмента на бакелитовой связке применяются: нормальный электрокорунд марок 13А, 14А по ГОСТ 28118–90 и ТУ 2-036-00221066-020–99; карбид кремния черный марок 53С, 54С по ГОСТ 26327–84; белый

электрокорунд по ГОСТ 28818—90Е и циркониевый электрокорунд по ТУ 3988-023-0221841—94.

Циркониевый электрокорунд отличается высокой прочностью, вследствие чего он применяется в инструменте для обдирочного шлифования при скоростях вращения инструмента более 60 м/с и усилиях его прижима на деталь более 500 кгс.

Зерновой состав всех шлифматериалов зернистостью 200—16 должен соответствовать требованиям ГОСТ 3647—80 (с 2006 г. ГОСТ Р 52381—2005). Зерновой состав циркониевого электрокорунда зернистостью 320—250 представлен в табл. 6.1.

В табл. 6.2 представлены насыпная плотность и разрушаемость циркониевого электрокорунда в зависимости от марки и зернистости абразивного материала.

В качестве связки применяется фенолформальдегидная смола, получаемая из фенола и формальдегида в жидком и порошкообразном состоянии.

Фенол C_6H_5OH и крезол $CH_3C_6H_4OH$ при нагревании вступают в реакцию с формальдегидом CH_2O с выделением воды. Для ускорения реакции и придания смолам желаемых свойств в смесь фенола (или крезола) с формалином вводят катализаторы.

При избытке фенола, например при молярном соотношении 7 молей фенола на 6 молей формальдегида и при применении в качестве катализатора кислот, получают смолы, называемые новолаками или новолачными смолами, которые сохраняют плавкость и растворимость при длительном хранении (до нескольких лет), а также при нагревании до 200—250 °С.

При меньшем содержании фенола в смеси, например при молярном соотношении 6 молей фенола и 7 молей формальдегида и обычно в присутствии

Таблица 6.1

Зерновой состав циркониевого электрокорунда для инструмента на органической связке

Зернистость	Наименование фракций									
	Предельная		Крупная		Основная		Комплексная		Мелкая	
	Размер стороны ячейки сита в свету, мкм	Остаток на сите, %	Размер стороны ячейки сита в свету, мкм	Остаток на сите, %, не более	Размер стороны ячейки сита в свету, мкм	Остаток на сите, %, не менее	Размер стороны ячейки сита в свету, мкм	Остаток на сите, %, не менее	Размер стороны ячейки сита в свету, мкм	Остаток на сите, %, не более
320	5600	0	5000	20	4000	45	5000, 4000, 2500	90	2000	3,0
250	5000	0	4000	20	2500	45	4000, 2500, 2000	90	1600	3,0

Примечание. 2500, 2000, 1600 – контрольные сетки с размером стороны ячейки в свету, мкм, по ГОСТ 6613; 5600, 5000, 4000 – перфорированные сита с круглыми отверстиями указанного диаметра, мкм, по ИСО 3310/11 или по другому нормативному документу.

Таблица 6.2

Насыпная плотность и разрушаемость циркониевого электрокорунда в зависимости от его марки и зернистости

Марка	Зернистость	Насыпная плотность, г/см^3, не менее	Разрушаемость, %, не более
38А9-0, 38А6-0	320	2,35	–
	250	2,33	–
	200	2,32	2,0
	160	2,29	–
	125	2,27	7,0
38А9, 38А6	320	2,26	–
	250	2,18	–
	200	2,16	7,0
	160	2,14	–
	125	2,12	12,0
38А8 38А5	320	2,15	12,0
	250	2,10	12,0
	200	2,05	9,0
	160	2,00	–
	125	1,95	15,0
38А4	160	1,90	–
	125	1,85	17,0
38А7, 38А3	100	1,80	–
	80	1,75	–
	63	1,70	–
	50	1,70	–
	40	1,70	–
	32	1,65	–
	25	1,65	–
	20	1,60	–
	16	1,60	–

щелочных катализаторов (едкого натра, аммиака и др.), получают резольные смолы, которые при нормальной температуре могут быть жидкими или твердыми. Они растворимы в спирте, ацетоне и фурфуроле. При нагревании вязкость резолов сначала уменьшается (твердые резольные смолы плавятся), затем вязкость растет, а растворимость падает, и они превращаются в резитолы. При длительном хранении это превращение происходит даже при комнатной температуре. Резитолы лишь частично растворимы в спирте и ацетоне, но значительно набухают в этих жидкостях. При комнатной температуре резитолы твердые, хрупкие. При нагревании они сначала размягчаются, а при дальнейшем нагревании превращаются в резиты — твердые, прочные, нерастворимые продукты, заметно не изменяющие своих свойств при нагревании до 200 °С, но разлагающиеся при температуре около 300 °С. Они нерастворимы

в органических растворителях, обладают низкой водопоглощаемостью. Крепкие щелочи разлагают резиты, вследствие чего при работе абразивными инструментами на бакелитовой связке нельзя применять сильно щелочные охлаждающие жидкости.

Основными связующими материалами при изготовлении абразивных инструментов на бакелитовой связке является порошкообразный (пульвербакелит) и жидкий бакелит высокой вязкости (до 300 с); в качестве увлажнителей для изделий на пульвербакелите используются низковязкий бакелит (5–30 с), фурфурол (растворитель) и др. Для придания абразивным смесям необходимых технологических и рабочих свойств, а абразивным инструментам требуемых эксплуатационных качеств в формовочные смеси вводят наполнители.

Фенольные порошкообразные связующие выпускаются по ТУ 6-05751768-35–94 "Связующие фенольные порошкообразные" и представляют собой смесь твердой фенолформальдегидной смолы и уротропина с добавкой модифицирующих веществ или без них, полученную в процессе их одновременного измельчения (до зернистости 83–63 мкм и мельче). Эти связующие характеризуются температурой плавления новолачной смолы, из которой изготовлен бакелит, содержанием в нем свободного фенола и определенной скоростью бакелизации. Температура плавления должна находиться в пределах 105–115 °С, содержание свободного фенола – 5,5 %, а прочность образцов на разрыв – не менее 13 МПа.

Физико-химические свойства и назначение порошкообразных связующих представлены в табл. 6.3.

Авторами [325] проведено исследование влияния порошкообразных связок марок СФП-011А, СФП-012А и СФП-015А на механическую прочность абразивных черепков, изготовленных по следующему рецепту: шлифматериал 14А80 — 700 г, связующее СФП — 91 г, фурфурол реактивный — 15 мл, плотность изделия — 2,6 г/см^3. Термообработка образцов проводилась по специальному режиму нагревания до 50 °С 1 ч; нагревание и выдержка, ч: при 90 °С – 6; при 110 °С – 1; при 130 °С – 1; при 170 °С – 1; при 180 °С – 3.

В табл. 6.4 приведены результаты исследования зависимости механической прочности образцов от марки связки при сравнительно одинаковом процентном содержании уротропина в исследуемых партиях и марках.

Анализ табл. 6.4 показывает, что увеличение содержания уротропина для связки любой марки от 6 до 9 % приводит к незначительному (от 1 до 1,7 %) увеличению механической прочности образца.

Автором [326] изучено влияние сроков хранения связующих марок СФП-011А, СФП-012А на содержание уротропина, текучести, времени желатинизации, механической прочности и твердости образцов, получаемых на этих связующих.

Рассмотрим первоначальные показатели. Содержание уротропина, %: для СФП-011А – от 6,44 до 9,01; для СФП-012А – от 6,72 до 9,15. Текучесть, мм: для СФП-011А – от 26,8 до 61,5; для СФП-012А – от 30,1 до 50,5. Время желатинизации, с: для СФП-011А – от 50.6 до 108,8; для СФП-012А – от 55,2 до 74,7. Механическая прочность абразивных образцов, изготовленных с применением связующих, МПа: для СФП-011А – от 8,61 до 14,76; для СФП-012А – от 8,23 до 14,11.

Таблица 6.3

Физико-химические свойства и назначение порошкообразных связующих

Наименование показателей	Нормы для марки	
	СФП-011А, СФП-012А, СФП-015А	СФП-0119А
Внешний вид	Белого или светло-желтого цвета	
Уротропин, мас. %	6–9	8,5–9,5
Свободный фенол, мас. %, не более	–	0,74
Текучесть, мм	20–65	16
Остаток на сетке № 01К, %, не более	2,0	–
Вязкость 50 %-ного раствора, МПа·с	–	220–340
Время желатинизации, с	50–110	50–85
Потери при бакелизации, %, не более	–	2,0
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа, не менее	12,7	26–29
Назначение	СФП-011А – связующее для изготовления всех видов инструмента любой характеристики; СФП-012А – связующее для изготовления всех видов инструмента, работающего без охлаждения; СФП-015А – связующее для изготовления всех видов инструмента низкой степени твердости, работающего с охлаждением, кроме кругов типа ПНВ и К	Связующее для изготовления обдирочных кругов методом горячего прессования

Таблица 6.4

Зависимость механической прочности образцов от марки связки при сравнительно одинаковом процентном содержании уротропина в связках

Марка связки СФП	Содержание уротропина, %	Механическая прочность на разрыв, МПа	Предельная норма уротропина, %
012А	5,62	13,7	5,5–5,6
012А	5,90	13,5	5,5–5,6
011А	6,05	14,1	5,5–5,6
	6,19	14,9	5,5–5,6
015А	6,34	13,9	5,5–5,6
	6,41	14,8	5,5–5,6
015А	6,58	14,3	6,5–7,5
	6,62	15,1	6,5–7,5
011А	7,01	12,4	6,5–7,5
	7,20	13,9	6,5–7,5
012А	7,24	14,5	6,5–7,5
	7,27	13,6	6,5–7,5
	7,34	14,0	6,5–7,5
	7,49	14,5	6,5–7,5
015А	7,41	13,3	6,5–7,5

Марка связки СФП	Содержание уротропина, %	Механическая прочность на разрыв, МПа	Предельная норма уротропина, %
015А	7,63	13,3	7,5–8,5
	7,63	14,2	7,5–8,5
	7,78	13,8	7,5–8,5
	7,96	13,8	7,5–8,5
011А	8,13	13,6	7,5–8,5
	8,21	14,4	7,5–8,5
	8,35	14,2	7,5–8,5
015А	9,21	12,6	9,2-20
011А	9,36	13,2	9,2-20
015А	9,50	13,1	9,2–20
011А	9,79	12,0	9,2–20
011 А	13,5	130	13,25

В результате проведенной работы [326] было установлено следующее: содержание уротропина за 250–300 дней хранения уменьшается в среднем на 8 %, текучесть пульвербакелита — на 13 %; время желатинизации повысилось на 11 %; твердость образцов увеличилась на 15 % (по глубине лунки); механическая прочность образцов уменьшилась на 11 %, и при этом цвет пульвербакелита постепенно меняется от светлого до темно-желтого.

Автором [327] показано, что изменение текучести СФП в диапазоне 26–40 мм вызывает изменение твердости приблизительно на одну степень (состав формовочной смеси 14А — 52 %; СФП — 17,5 %, увлажнитель — этиловый спирт). Изменение текучести от 20 до 65 мм (в соответствии с техническими условиями) требует проведения корректировки рецептур формовочных смесей.

Количественное содержание уротропина для любой марки связующего СФП при его увеличении от 6 до 9 % дает незначительное увеличение механической прочности (примерно 1–1,7 %), при более низком и более высоком его содержании механическая прочность снижается, что объясняется авторами [328] в первом случае недостаточным образованием пространственной структуры, а во втором случае повышенным количеством вторичных аминов, образующихся в результате реакции продуктов разложения уротропина с новолачными смолами. При исследовании зависимости твердости образцов, заформованных на связующем марки СФП, от показателя текучести установлено, что твердость образцов зависит не только от текучести, но и от времени желатинизации: чем выше текучесть и ниже время желатинизации, тем выше твердость. При очень большом времени желатинизации независимо от всех других показателей получаются образцы с низкой твердостью.

Жидкий бакелит выпускается по ГОСТ 4559–78 "Бакелит жидкий. Технические условия" и представляет собой фенолформальдегидную смолу резольного типа, полученную поликонденсацией фенола с формальдегидом в присутствии едкого натра (катализатора).

Физико-химические свойства и назначение жидкого бакелита представлены в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Физико-химические свойства и назначение жидкого бакелита

Характеристика	Норма для марки					
	БЖ-1	БЖ-2	БЖ-3	БЖ-4	БЖ-6	БЖ-3А
Внешний вид	Вязкая однородная жидкость, не содержащая взвешенных частиц, в пределах партии одного цвета					
Вязкость условная, с динамическая, МПа·с	 50–150 –	 150–300 –	 2–10 –	 50–120 –	 – 960–3600	 7–15 –
Время желатинизации, с	60–180	60–180	100–200	60–180	150–185	100–200
Свободный фенол, мас. %	8–15	8–16	8–17	8–16	20–25	8–16
Вода, мас. %	12,5	13,0	19,0	5–10	7,0	18,0
Потери при поликонденсации, %	15–22	15–22	Не более 30	15–22	20–26	Не более 28
Щелочность, %	Не более 0,3	Не более 0,3	Не более 0,3	Не более 0,3	Не более 0,3	Не более 0,3
Назначение	Связующее для абразивных изделий холодного и горячего прессования и вальцевания		Связующее для абразивных изделий холодного прессования		Связующее для абразивных изделий холодного и горячего прессования	Связующее для абразивных изделий

Примечание. Жидкий бакелит марки БЖ-3А изготавливается по техническим условиям ТУ 2221-067-05015227–98; вязкость жидкого бакелита в момент приемки не должна быть более: для марки БЖ-4 – 80 с, для марки БЖ-6 – 1800 МПа·с.

Наполнители вводят в состав формовочных смесей для повышения прочности связки, уменьшения расхода бакелита и снижения брака (растрескивания и оплавления), сокращения длительности термообработки и т. д. В.В. Райт [329] классифицирует наполнители в три группы:

1) химически активные при отверждении связующего;

2) химически активные при шлифовании;

3) неактивные (инертные), увеличивающие прочность и износостойкость связки.

Объем наполнителей в связке достигает от 10 до 40 % при формовании методом холодного прессования и 50 объемных процентов в связке при изготовлении инструмента методом горячего прессования.

К активным наполнителям, способствующим отверждению связующего, относятся гашеная и негашеная известь. Гашеная известь $Ca(OH)_2$ способствует упрочнению связки и повышению ее теплостойкости, но в то же время увеличивает модуль упругости связки, делает ее более хрупкой и менее эластичной. Негашеная известь CaO используется при изготовлении высокоплотных кругов горячего прессования в сочетании с фурфуролом, она поглощает воду, содержащуюся в жидком бакелите.

К активным наполнителям в круге, способствующим улучшению процесса шлифования, относятся: криолит синтетический $AlF_3 \cdot nNaF$, железный колчедан FeS_2, фтороборат калия KBF_4, сульфид цинка ZnS, сульфид сурьмы

Sb_2S_5, хлорид свинца $PbCl_2$, хлориды и сульфаты калия и натрия, графит, алюминий.

Введение специальных наполнителей изменяет физико-механические свойства (прочность на разрыв и изгиб) кругов по сравнению со стандартным наполнителем алебастром в среднем на 10–15 %. На 18 % увеличивается прочность на разрыв при введении криолита и на 30–32 % — прочность на изгиб и разрыв при введении кристаллического кремния [330].

Криолит и пирит в основном способствуют повышению прочности абразивного инструмента на бакелитовой связке, теплопроводности, а также улучшению его режущих свойств. Однако наряду с положительными показателями эти наполнители обладают и определенными недостатками. Способствуя повышению прочности изделий и действуя как смазывающе-охлаждающий агент при шлифовании, из криолита, вследствие его разложения, выделяются летучие фтористые соединения, что приводит к загрязнению атмосферы отходами шлифования. Относительно низкая стойкость инструмента объясняется засаливанием его из-за протекающей при температуре шлифования экзотермической реакции между наполнителями пиритом и криолитом (при совместном их использовании), что приводит к снижению его режущей способности.

Пирит способствует повышению теплопроводности изделий. Разлагаясь, он снижает прочность тончайшего поверхностного слоя смазки круга. При этом режущие вершины зерен обнажаются и процесс стружкообразования идет активнее. В то же время добавка пирита в количестве 1–2 % приводит к увеличению длительности термообработки на 4–6 ч, что значительно повышает себестоимость инструмента. Кроме того, в процессе шлифования имеет место выделение летучих сернистых соединений вследствие разложения пирита, что приводит к загрязнению атмосферы отходами шлифования.

Введение совместно наполнителей пирита и алюминия обеспечивает снижение на 20–30 % сил резания, полезной мощности и температуры в зоне шлифования.

Хлориды и сульфаты калия и натрия водорастворимы и используются в абразивном инструменте без охлаждения, а графит осуществляет смазывающие действия при шлифовании.

Авторы [331] в качестве наполнителя вводят фруктовые косточки (КФ), объясняя их положительное влияние на эксплуатационные показатели инструмента образованием дополнительных пор в зоне резания.

Применение антимонита Sb_2S_5 (флотационной сурьмы по ТУ 48-11-22–77) в качестве наполнителя для изготовления отрезного инструмента повышает коэффициент шлифования в 1,5–2 раза [332].

К *инертным наполнителям* относятся тонкоизмельченные абразивные порошки, молотый шамот, полевой шпат, известняк, гипс, которые повышают прочность и теплостойкость изделий на бакелитовой связке, снижают их стоимость. Например, гранулы мрамора, известняка и оливина с размерами, близкими к размерам абразивных зерен, при шлифовании разрушаются, образуя на поверхности круга поры и способствуя тем самым улучшению условий резания. Волокнистые наполнители (асбест, стеклянные и углеродные волокна) используются для повышения прочности абразивного инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок.

Авторы [333, 334] при экспериментальном исследовании возможности применения в качестве наполнителя строительного гипса (алебастра) вместо криолита в отрезных и обдирочных шлифовальных кругах показали, что в качестве наполнителя, улучшающего физико-механические характеристики кругов, необходимо применять α- и β-полуводный сульфат кальция при учете содержания влаги в других компонентах формовочной смеси.

Образование α- и β-модификаций полуводного гипса зависит от условий тепловой обработки:

α-полугидрат образуется в процессе обработки гипса при температуре выше 97–100 °С в среде насыщенного пара и в воде или растворах некоторых солей, т. е. в условиях, при которых вода из гипса выделяется в жидком состоянии. В технике для этих целей применяют тепловую обработку при температуре 107–125 °С и более;

β-модификация полуводного гипса получается при обычном нагревании гипса до 100–160 °С в открытых аппаратах, сообщающихся с атмосферой и обеспечивающих удаление из него воды в виде перегретого пара. Плотность α- и β-полугидратов равна соответственно 2,72–2,75 и 2,62–2,66 г/см^3. При этом в процессе термической обработки при температуре от 20 до 200 °С гипс не только связывал летучие вещества, но и уплотнял упаковку шлифзерна (плотность — от 1,87 до 2,12 г/см^3), что и привело к повышению режущей способности инструмента и коэффициента шлифования.

Растворители вводятся в формовочную смесь для придания смесям способности формоваться. К растворителям предъявляются следующие требования. Они не должны:

а) ухудшать состав связки;

б) быстро испаряться из смеси, так как испарение растворителя изменяет свойства смеси (смесь становится сухой и теряет способность формоваться);

в) быть дорогими и дефицитными;

г) быть токсичными.

Основными увлажнителями для смесей на порошкообразном бакелите являются фурфурол, жидкий бакелит и их смеси, реже — растворы жидкого бакелита в спирте или ацетоне.

Фурфурол в чистом виде — бесцветная или желтоватая жидкость, темнеющая на воздухе, с плотностью 1,165 г/см^3. Растворяется в спирте, ацетоне, эфире и сам является растворителем искусственных смол, а также многих органических соединений; в воде растворяется мало. Под действием света и воздуха фурфурол быстро окисляется, приобретая темно-бурую окраску.

Технический фурфурол получается из материалов, содержащих пентозы (отрубей, подсолнечной лузги и пр.), путем нагрева с разбавленной серной кислотой. Фурфурол, поступающий на производство в стальных барабанах или стеклянной таре, обладает своеобразным запахом, напоминающим при малой концентрации запах свежего хлеба и горького миндаля. Проверка качества фурфурола осуществляется с использованием его пробы на отслаивание (при 20 °С в течение 24 ч не должно быть ни осадка, ни мути) и пробой на растворимость в серном эфире, метиловом и этиловом спиртах и ледяной уксусной кислоте (должно быть полное растворение); содержание основного продукта, определяемого аналитическим путем, должно быть не менее 95 %.

Сетки армирующие пропитанные типа СПАП (ТУ 6-48-00205009-131-99 и ТУ 6-48-122-94) предназначены для упрочнения абразивных кругов и представляют собой сетку перевивочного переплетения и пропитанную связующим МП на основе порошкообразного пульвербакелита (СФП, ТУ 946-115751768-35-94), модифицированного пластификатором полиэтиленгликолем-35 (ПЭГ-35, ТУ 14-719-82). В зависимости от структуры и вида применяемого для пропитки связующего сетки выпускаются следующих марок: СПАП-БА — связующее на основе жидкого бакелита; СПАП-М, СПАП-МП — на основе фенольного порошкообразного; СПАП-абразив — на основе фенолформальдегидной смолы; СПАП-3, СПАП-БЛ — на основе бакелитового лака марки ЛБС и СПАП-ЛХС — на основе лака марки ЛХС-2.

6.2. Расчет рецептуры абразивного инструмента на бакелитовой связке

Для расчета рецептуры абразивного инструмента на бакелитовой связке используется несколько методик.

Автор [335] разработал методику, которая основывается на эмпирическом уравнении, определяющем зависимость степени твердости инструмента от параметров его структуры:

$$h = a + b(V_п/V_з V_с), \qquad (6.1)$$

где a, b — постоянные коэффициенты; h — среднее значение глубины лунки пескоструйного прибора, мм; $V_с$, $V_з$, $V_п$ — объемы связки, зерна и пор соответственно, %.

Коэффициент a показывает значение твердости инструмента при нулевой пористости (второй член уравнения в этом случае становится равным нулю). Значения коэффициента a для инструмента различных характеристик лежат в пределах 0,5–1,1 мм. Учитывая относительно небольшие колебания величины a, ее значения принимают постоянными и равными единице.

Коэффициент b — коэффициент пропорциональности для инструмента разной зернистости.

Выражение $V_п/V_з V_с$ показывает удельное содержание пор в единице объема связующего, приходящегося на единицу объема абразивного материала.

При использовании уравнения (6.1) расчет рецептуры складывается из следующих операций: выбор объемного содержания зерна в инструменте (выбор структуры); расчет необходимого объема связки на основании заданной степени твердости и зернистости; определение количества увлажнителя (жидкого бакелита), наполнителя и пульвербакелитового связующего; расчет объемного веса инструмента; корректировка рассчитанной рецептуры.

Объемное содержание зерна в инструменте выбирается с учетом требуемых эксплуатационных свойств и мощности имеющегося прессового оборудования, в табл. 6.6 приведены рекомендуемые пределы объема зерна для удельных давлений прессования 50–400 кг/см^2 (5–40 МПа).

Количество зерна $P_з$ в весовых частях определяется путем умножения объема зерна $V_з$ на его плотность (г/см^3).

Таблица 6.6

Рекомендуемые пределы объема зерна для удельных давлений прессования 50–400 кг/см² (5–40 МПа)

Зернистость абразивного материала	Пределы объемов зерна $V_з$, % для различных абразивных материалов различной зернистости	
	Нормальный и белый электрокорунды	Черный карбид кремния
10–12	47–54	50–58
16	48–56	50–58
25	50–57	51–58
40	51–59	51–59
80	53–62	52–60
100	55–64	53–61
125	56–65	53–62

Необходимый объем связки рассчитывается на основании формулы (6.1) и результатов эмпирического определения коэффициента b для инструментов разных зернистостей:

$$V_с = \frac{100(100 - V_з)}{(b-1)(0,65 + 0,13N)V_з + 100}, \qquad (6.2)$$

где N — номер зернистости.

Количество жидкого бакелита в весовых частях определяется по формуле

$$P_ж = 0,012 \cdot V_ж V_с = 0,012(1,23 - 0.22T)(20 + 0,06N)V_с, \qquad (6.3)$$

где Т — степень твердости инструмента в числовом выражении: М3–6; СМ1–7; СМ2–8; С1–9; С2–10; СТ1–11; СТ2–12; СТ3–13 и СТ1–14.

Экспериментами установлено, что наибольшую прочность обеспечивает связка, содержащая 10 об. % наполнителя. Количество наполнителя $P_н$ в весовых частях определяется умножением объема наполнителя, равного $0,1V_с$, на его плотность (г/см³).

Количество пульвербакелитового связующего вычисляется в весовых частях по формуле

$$P_п = 1,25V_с(0,9 - 0,01V_ж). \qquad (6.4)$$

Расчетный объемный вес инструмента $\gamma_р$ определяется по зависимости

$$\gamma_р = 0,01(V_з\gamma_з + V_с\gamma_с), \qquad (6.5)$$

где $\gamma_з$ и $\gamma_с$ — плотности абразивного материала и связки соответственно, г/см³.

При использовании в качестве наполнителя криолита в количестве 10 % от объема связки плотность последней составляет 1,416 г/см³.

Значения $P_з$, $P_ж$, $P_н$, $P_п$ и $\gamma_р$ пересчитываются, если это необходимо, в расчете на 100 вес. ч. абразивного зерна, а при применении объемной дозировки зерна — на соответствующий объем мерника.

Из-за существующих на заводах-изготовителях различий в условиях приготовления смесей, режимах термообработки, качестве сырья и т. д. необходимо рассчитанную рецептуру опробовать на образцах и откорректировать в случае отклонения фактической твердости инструмента от заданной. Корректируется только значение объемного веса инструмента путем умножения его на коэффициент $K_к$. Значение поправочного коэффициента $K_к$ с достаточной точностью можно определить по формуле

$$K_к = 1.00 - 0,0025\Delta h, \qquad (6.6)$$

где Δh — отклонение фактической глубины лунки пескоструйного прибора от заданной, %.

Окончательное значение объемного веса изделия определяется по формуле

$$\gamma_к = \gamma_р K_к. \qquad (6.7)$$

Приведенная методика расчета рецептур может быть использована при разработке новых систем рецептов и контроля стабильности технологического процесса и исходного сырья.

Автор [336] провел экспериментальные исследования зависимости твердости абразивного инструмента от объемного содержания зерна и связки. Эта зависимость аппроксимирована математическим уравнением, при помощи которого составлена структурная карта (табл. 6.7).

Таблица 6.7

Структурная карта абразивиого инструмента на бакелитовой связке

Номер структуры	Объем зерна, %	Соотношение объема связки и объема пор со степенью твердости												
		М2	М3	СМ1	СМ2	С1	С2	СТ1	СТ2	СТ3	Т1	Т2	ВТ	ЧТ
0	62	3,10 / 34,9	5,30 / 32,7	7,60 / 30,4	10,0 / 28,0	12,5 / 25,5	15,1 / 22,9	17,8 / 20,2	20,6 / 17,4	23,5 / 14,5	26,5 / 11,5	29,6 / 8,4	32,8 / 5,2	36,2
1	60	4,40 / 35,4	6,50 / 33,5	8,80 / 31,2	11,2 / 28,2	13,7 / 26,3	16,3 / 23,7	19,0 / 21,0	21,8 / 18,2	24,7 / 15,3	27,2 / 12,3	30,8 / 9,2	34,0 / 6,0	37,3 / 2,7
2	58	5,50 / 36,5	7,70 / 34,3	10,0 / 32,0	12,4 / 29,6	14,9 / 27,1	17,5 / 24,5	20,2 / 21,8	23,0 / 19,0	25,9 / 16,1	28,9 / 13,1	32,0 / 10,0	35,2 / 6,8	38,5 / 3,5
3	56	6,80 / 37,2	9,00 / 35,0	11,3 / 32,7	13,7 / 30,3	16,2 / 27,8	18,8 / 25,2	21,5 / 22,5	24,3 / 19,7	27,2 / 16,8	30,2 / 13,8	33,3 / 10,7	36,5 / 7,5	39,8 / 4,2
4	54	8,10 / 37,9	10,3 / 35,7	12,6 / 33,4	15,0 / 31,0	17,5 / 28,5	20,1 / 25,9	22,8 / 23,2	25,6 / 20,4	28,5 / 17,5	31,5 / 14,5	34,6 / 11,4	37,8 / 8,2	41,1 / 4,9
5	52	9,40 / 38,6	11,6 / 36,4	13,9 / 34,1	16,33 / 31,7	18,8 / 29,2	21,4 / 26,6	24,1 / 23,9	26,9 / 21,1	29,8 / 18,2	32,8 / 15,2	35,9 / 12,1	39,1 / 8,9	42,4 / 5,6
6	50	10,8 / 39,2	13,0 / 37,0	15,3 / 34,7	17,7 / 32,3	20,2 / 29,8	22,8 / 27,2	25,5 / 24,5	28,3 / 21,7	31,3 / 18,8	34,2 / 15,8	37,3 / 12,7	40,5 / 9,5	43,8 / 6,2
7	48	12,2 / 39,8	14,4 / 37,6	16,7 / 35,3	19,1 / 32,9	21,6 / 30,4	24,1 / 27,8	26,9 / 25,1	29,7 / 22,3	32,6 / 19,4	35,6 / 16,4	38,7 / 13,3	41,9 / 10,1	45,2 / 6,8
8	46	13,6 / 40,4	15,8 / 38,2	18,1 / 35,9	20,5 / 33,5	23,0 / 31,0	25,6 / 28,4	28,3 / 25,7	31,1 / 22,9	34,0 / 20,0	37,0 / 17,0	40,1 / 13,9	43,3 / 10,7	46,6 / 7,4
9	44	15,1 / 40,9	17,3 / 38,7	19,6 / 36,4	22,0 / 34,0	24,5 / 31,5	27,1 / 28,9	19,8 / 26,2	32,6 / 23,4	35,5 / 20,5	38,5 / 17,5	41,6 / 14,4	44,8 / 11,2	48,1 / 7,9

Номер структуры	Объем зерна, %	Соотношение объема связки и объема пор со степенью твердости												
		М2	М3	СМ1	СМ2	С1	С2	СТ1	СТ2	СТ3	Т1	Т2	ВТ	ЧТ
10	42	16,6 / 41,4	18,8 / 39,2	21,1 / 36,9	23,5 / 34,5	26,0 / 32,0	28,6 / 29,4	31,3 / 26,7	34,1 / 23,9	37,0 / 21,0	40,0 / 18,0	43,1 / 14,9	46,3 / 11,7	49,6 / 8,3
11	40	18,3 / 41,8	20,4 / 39,6	22,7 / 37,3	25,1 / 34,9	27,6 / 32,4	30,2 / 29,8	32,9 / 37,1	35,7 / 24,3	38,6 / 21,4	41,6 / 18,4	44,7 / 15,3	47,9 / 12,1	51,2 / 8,8

Примечание. В числителе — объем связки, в знаменателе — объем пор.

По В.В. Райту при расчете рецептуры формовочной смеси исходными данными являются заданные номер структуры и степень твердости абразивного инструмента. По структурной карте (см. табл. 6.7) легко определяется объем связки.

В состав связки обычно входят как минимум три компонента: жидкий бакелит, связующее фенольное порошкообразное (пульвербакелит) и наполнитель, например криолит. Типичное соотношение объемов этих компонентов:

$$V_{б.ж} : V_{п.б} : V_{кр} = 0,25 : 0,55 : 0,20.$$

Масса каждого компонента определяется по формуле

$$M_к = M_з V_к d_к / V_з d_з,$$

где $M_з$ — масса зерна (обычно задается); $V_к$ — объем компонента, %; $d_к$ — плотность компонента, г/см^3; $V_з$ — объем зерна, %; $d_з$ — плотность зерна, г/см^3.

Объемная масса формуемого изделия:

$$\gamma = (V_з d_з + V_{б.ж} d_{б.ж} + V_{п.б} d_{п.б} + V_{кр} d_{кр})/100, \text{ г/см}^3.$$

Умножая величину объема формуемого изделия на его объемную массу, получаем значение навески формовочной смеси в расчете на изделие.

Плотность наполнителей, применяющихся при изготовлении абразивного инструмента, характеризуется следующими значениями, г/см^3: криолит синтетический $AlF_3 \cdot nNaF$ — 2,96; железный колчедан (пирит) FeS_2 — 5,00; сульфид цинка ZnS — 4,04; хлорид свинца $PbCl_2$ — 5,85; сульфид сурьмы Sb_2S_5 — 4,12; фтороборат калия KBF_4 — 2,50; хлорид натрия $NaCl$ — 2,16; хлорид калия KCl — 1,98; сульфат натрия Na_2SO_4 — 2,70; сульфат калия K_2SO_4 — 2,64; негашеная известь CaO — 3,37; гашеная известь $Ca(OH)_2$ — 2,24; известняк $CaCO_3$ — 2,70; полевой шпат CaF_2 — 2,60; шамот — 2,30; мрамор — 2,85; микропорошок карбида кремния — 3,15; микропорошок электрокорунда — 3,90; асбест — 2,62; стекловолокно — 1,95; алебастр (гипс) $2CaSO_4 \cdot H_2O$ — 2,30.

Следует отличать рецептурную структуру, которую используют при расчете рецептуры для изготовления абразивного инструмента, от структуры готового (термообработанного) абразивного инструмента. В процессе термической обработки (бакелизации) часть бакелитовой связки переходит в газообразное состояние и улетучивается (потери при поликонденсации в жидком бакелите составляют до 30 %, в связующем фенольном порошкообразном — до 3 %), поэтому структура термообработанного изделия несколько отличается от ре-

цептурной структуры. Объемное содержание пор при бакелизации изделия увеличивается за счет уменьшения объемного содержания связки на 3–5 % в зависимости от количества и качества ее компонентов.

Для определения взаимосвязи параметров рецептурной структуры с твердостью, коэффициентом прессования и удельным усилием при прессовании абразивного инструмента на бакелитовой связке проведен эксперимент с использованием ортогонального композиционного планирования. При этом варьируемыми параметрами были рецептурное объемное содержание шлифовального материала $V_з$ и связки V_c. Соотношение компонентов связки (объемов жидкого бакелита $V_{ж.б}$, порошкообразного связующего $V_{п.с}$ и криолита $V_{кр}$) взято постоянным:

$$V_{ж.б} : V_{п.с} : V_{кр} = 0{,}200 : 0{,}675 : 0{,}125.$$

Исследуемые параметры: твердость отвержденного образца, определяемая глубиной лунки по ГОСТ 18118–72, коэффициент прессования (отношение насыпной массы смеси к массе заформованной заготовки) и удельное усилие прессования — определялись на образцах кругов ПП 150 × 20 × 75 из белого электрокорунда зернистостей 6, 8, 10, 16, 25 и 40. Для кругов, изготовленных методом холодного прессования, объемное содержание шлифовального материала и связки, а также зернистость выбирали с учетом номенклатуры абразивного инструмента, выпускаемого в России.

Анализ полученных зависимостей показал, что твердость абразивного инструмента на бакелитовой связке зависит от объемного содержания связки в большей степени, чем от объемного содержания шлифматериала.

В качестве примера на рис. 6.1 представлена диаграмма состава абразивного инструмента на бакелитовой связке, на которой показана (в виде изокривых) взаимосвязь параметров рецептурной структуры $V_з$, V_c, $V_п$ с твердостью, коэффициентом прессования и удельным усилием прессования.

Следует отметить, что с увеличением зернистости от 6 до 40 коэффициент прессования снижается с 2,1 до 1,4, а удельное усилие прессования — с $430 \cdot 10^5$ до $200 \cdot 10^5$ Н/м^2 (рис. 6.2).

Кривая *1* показывает границу формования изделий методом холодного прессования без разрушения абразивных зерен, кривая *2* — границу минимально допустимой прочности заформованного сырого круга, кривая *3* — границу максимально плотных структур абразивных кругов при холодном прессовании без дефектов (вспучивания и др.), которые возникают при термической обработке очень плотных изделий.

Абразивный инструмент очень плотных структур с пористостью менее 15 % изготовляют методом горячего прессования. Для производства высокопористого абразивного инструмента $V_п$ > 35 %) может быть применен метод замены части абразивных зерен порообразователем [337].

Графическое отображение свойств абразивного инструмента на трехкомпонентной диаграмме с введением граничных условий в виде граничных кривых позволяет легко определить некоторые технологические параметры изготовления абразивного инструмента при заданной характеристике.

Например, требуется изготовить абразивный инструмент на бакелитовой связке зернистостью 25, твердостью С2, с объемным содержанием шлиф-

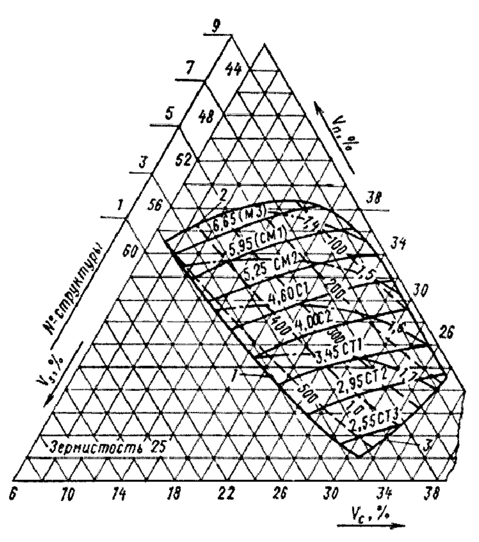


Рис. 6.1. Изокривые твердости (сплошные лиинии), коэффициента прессования (штрих-пунктирные линии) и удельного усилия прессования (пунктирные линии) в системе $V_з$—$V_с$—$V_п$ при зернистости 25

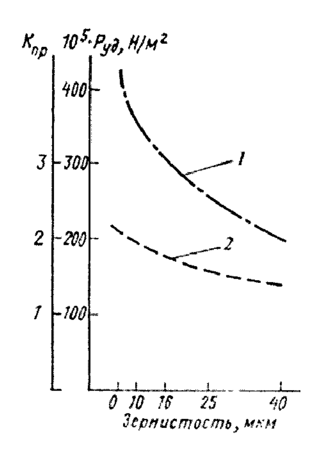


Рис. 6.2. Зависимость удельного прессования (*1*) и коэффициента прессования (*2*) от зернистости шлифматериала при $V_з$ = 50 %, $V_с$ = 20 %

материала $V_з$ = 48 % (структура № 7). Проектируя точку пересечения изокривой твердости С2 на диаграмме с линией объемного содержания шлифматериала $V_з$ на ось $V_с$, определяем объемное содержание связки: $V_с$ = 24 %; при этом коэффициент прессования составит около 1,63, удельное усилие прессования — $250 \cdot 10^5$ Н/м^2. По полученному коэффициенту прессования выбирают высоту пресс-формы или объем смеси при объемном дозировании, по значению удельного усилия прессования рассчитывают номинальное усилие прессования.

Другой пример. Требуется изготовить абразивный инструмент на бакелитовой связке твердостью СМ2 с объемным содержанием шлифматериала $V_з$ = 38 % (структура № 12). На диаграмме (см. рис. 6.1) видно, что точка пересечения изокривой твердости СМ2 с линией объемного содержания шлифматериала лежит за кривой *2*, которая ограничивает область возможного изготовления абразивного инструмента по условию минимально допустимой прочности сырца. Следовательно, изготовить инструмент с заданной характеристикой обычным методом, без применения специальных порообразователей, невозможно. Об этом свидетельствует значение удельного усилия прессования, которое при экстраполяции будет близко к нулю.

Проведенные исследования позволили выявить и наглядно представить на трехкомпонентной диаграмме взаимосвязь параметров структуры с твердостью, а также с такими технологическими параметрами, как коэффициент прессования и удельное усилие прессования абразивного инструмента на бакелитовой связке. Систематизация экспериментальных данных позволила выявить и ограничить область реальных технологических условий изготовления абразивного инструмента на бакелитовой связке, изготовляемого холодным прессованием без применения специальных порообразователей. Полученные зависимости коэффициента прессования и удельного усилия прессования от рецептурных параметров структуры могут быть использованы на практике при выборе прессового оборудования и оснастки.

6.3. Бакелизации и оборудование для термической обработки инструмента

Бакелизация — процесс превращения сырой связки абразивного инструмента в готовую, обладающую высокой прочностью и теплостойкостью, — производится нагревом изделия до температуры 140–250 °С (в зависимости от метода и режима бакелизации). При этом бакелит подвергается дальнейшей конденсации, являющейся, по существу, прямым продолжением процесса его изготовления. Происходит сращивание отдельных молекул в более крупные — линейные, сетчатые и трехмерные. Однако в процессе бакелизации, помимо конденсации, происходит и перераспределение бакелита на зернах абразивного материала. При изготовлении массы крупные зерна покрываются равномерным слоем связки. При бакелизации связка стремится заполнить капиллярные промежутки, образующиеся вблизи мест соприкосновения отдельных зерен. Этим упрочняется связь отдельных зерен (увеличиваются прочность и твердость самого изделия), уменьшается бесполезный слой связки в порах изделия и увеличиваются размеры отдельных пор. Такому перераспределению

связки способствует понижение ее вязкости при повышении температуры. Соответственно высокая температура в начальный период бакелизации (до перехода смолы в стадию *В*) благоприятно сказывается на свойствах абразивных изделий. Так же благоприятно действует увеличение количества увлажнителя, понижающего вязкость расплавленной связки. Однако нагрев не только снижает вязкость связки — он ускоряет процессы конденсации бакелита, что вызывает обратное действие: повышает вязкость связки. При этом происходит выделение летучих (воды, свободного фенола, паров растворителей, введенных в составе увлажнителей: аммиака и аминов в случае порошкообразного бакелита, и др.). Происходит усадка связки, а с ней и абразивного изделия, что следует учитывать при конструировании пресс-форм для горячего прессования; увеличивается плотность связки, и повышается коэффициент преломления бакелита.

Бакелизация шлифкругов осуществляется в камерных и туннельных бакелизаторах, оборудованных приборами для контроля и автоматического ведения режима бакелизации.

Постановка изделий в конвекционные бакелизаторы производится тремя способами: открытым, между плитами и в засыпке.

При открытом способе изделия укладываются в один ряд на металлические или керамические плиты. К недостаткам этого метода следует отнести различие условий бакелизации верхней и нижней плоскостей изделия: нижняя плоскость экранирована от окружающей среды подкладной плитой, поэтому удаление летучих (свободного фенола и растворителей, входящих в состав увлажнителя) происходит более интенсивно с верхней плоскости, что при плотных кругах на жидком бакелите делает верхнюю поверхность круга более твердой, а в изделиях на порошкообразных смолах, при недостаточно быстром режиме бакелизации, ведет к понижению твердости верхней поверхности. Если снять с верхней плоскости круга 3—5 мм материала, твердость обеих плоскостей станет одинаковой, при этом верхняя плоскость круга всегда тусклая, а более твердая нижняя плоскость блестящая. При просмотре под микроскопом тусклая пленка бакелита пористая, рыхлая, а блестящая пленка плотная и монолитная [338].

По второму способу изделие покрывается сверху такой же плитой, как нижняя (подкладная). В этом случае верхняя и нижняя поверхности круга находятся в одинаковых условиях. Однако выход летучих из круга при бакелизации по этому методу затруднен, так как основная масса летучих выделяется через периферию круга, что при плотных кругах может привести к вспучиванию слоев, прилегающих к периферии. Разновидностью этого способа является постановка нескольких кругов в стопку друг на друга, что возможно реализовать при бакелизации кругов, изготовленных на порошкообразном бакелите. Если при бакелизации наблюдается спекание кругов, то между ними прокладывают по два листа бумаги или насыпают тонкий (менее 1 мм) слой абразивного зерна.

По третьему методу изделие, уложенное на подкладочную плиту, окружается по периферии железным кожухом, а пространство между изделием и кожухом, отверстие круга и плоскость круга засыпаются зернистым материалом (песком, дробленым кварцем, абразивным зерном). Засыпка предохраняет

изделия на порошкообразном бакелите от преждевременного высыхания увлажнителя, а изделия на жидком бакелите — от образования на поверхности изделия сухой сплошной пленки, затрудняющей выход летучих из нижележащих слоев. В табл. 6.8 представлены результаты эксплуатационных испытаний кругов в зависимости от способа их постановки на бакелизацию.

Автор [339] предлагает производить бакелизацию кругов в капселях, а для постановки тонких кругов — использовать подкладные плиты, сделав в них выточки, при этом увеличивается производительность труда и коэффициент использования рабочего объема бакелизаторов.

Температурный режим бакелизации при нормальном давлении определяется следующими факторами: 1) количество связки в изделии; 2) количество летучих продуктов в связке и упругость их паров; 3) пористость изделий; 4) зернистость абразивного материала; 5) скорость полимеризации бакелита, примененного для изготовления связки; 6) размеры и форма изделий. Высокое содержание связки и наличие в ней большого количества летучих, малая скорость отвердевания смолы, низкая пористость изделия, крупнозернистые и большие изделия — все это требует медленного подъема температуры, обеспечивающего равномерное удаление летучих, прогрев бакелизируемого изделия и не вызывающего чрезмерного снижения вязкости связки, могущего привести к ее стеканию к нижней плоскости круга. Последнее может быть устранено также применением очень быстрого нагрева изделия до температуры, обеспечивающей переход связки в стадию *В* за время, недостаточное для ее заметного стекания. Поэтому, если изделие способно не деформируясь выдержать быстрый нагрев до высокой температуры, можно использовать короткие режимы.

Изделия на порошкообразном бакелите нельзя бакелизировать по режимам с медленным подъемом температуры до точки плавления связки, так как при этом происходит испарение или затвердевание увлажнителя до оплавления всей связки в монолитное тело и до ее растекания по поверхности абразивных зерен. Наличие паров увлажнителя и фенола в атмосфере бакелизационной камеры замедляет испарение увлажнителя и фенола из связки. Поэтому при замедленных режимах бакелизации нежелателен газообмен в бакелизаторе. Порошкообразный бакелит, при длительной выдержке и температуре ниже температуры расплавления связки, становится вязкоплавким, что действует так же, как преждевременное испарение увлажнителя. В результате режимы бакелизации с длительными выдержками при температуре ниже температуры расплавления связки не позволяют получать твердые, прочные изделия. Поэтому во всех случаях увеличение скорости нагрева изделий на порошкообразном бакелите повышает их прочность и твердость (если при этом не происходит вспучивания изделия летучими).

Контроль полноты бакелизации

Одним из наиболее распространенных методов контроля полноты бакелизации является погружение изделия или его части в растворитель (фурфурол, спирт или ацетон). Недобакелизированные изделия при этом резко теряют прочность и, вследствие набухания связки в растворителе, увеличиваются

Таблица 6.8

Результаты эксплуатационных испытаний кругов в зависимости от способа их постановки на бакелизацию

Круг	Нормальный электрокорунд, зернистость, %			Рецептура, мас. %					Твердость	Способ постановки при бакелизации	Стойкость кругов	
	№ 80	№ 40	№ 5	Жидкий бакелит	Але-бастр	Пульвер-бакелит	Объем-ный вес	Струк-тура			Вре-мя, мин	Количество заточенных лезвий одним комплектом кругов, кг
300 × 40 × 75	75	25	–	2,4	2,0	6,0	2,55	-	СТ2–СТ1	Открытая постановка	20–25	–
	75	25		2,4	2,0	6,0	2,55	–	СТ2	В засыпке зерном	35	
	75	25	–	2,4	2,0	6,0	2,60		СТ1	Открытая постановка	25	
	75	25	–	2,4	2,0	6,0	2,60	–	СТ3	В засыпке зерном	40–45	–
	75	25	-	2,5	2,2	7,0	2,65	–	СТ2	Открытая постановка	30–35	
	75	25	-	2,5	2,2	7,0	2,65	–	СТ3–СТ1	В засыпке зерном	45–50	-
95 × 40 × 58	–	–	100	3,0	-	7,5	2,08	7	М2	Открытая постановка	–	150–200
	–	–	100	3,0	–	7,5	2,08	7	М3	В засыпке зерном		800 1500
		–	100	3,1	–	8,5	2,12	7	М3	Открытая постановка	–	200–250
	–	–	100	3,1	-	8,5	2,12	7	СМ1–СМ2	В засыпке зерном		

в объеме, превращаясь в рыхлую массу. Другим способом контроля полноты бакелизации является определение количества составных частей смолы, способных переходить в раствор, для чего образец, вырезанный из круга, измельчают, помещают в растворитель (спирт или ацетон), нагревают и отфильтровывают. О полноте бакелизации судят по потере в весе образца или по содержанию свободного фенола в фильтрате. Все эти методы требуют разрушения изделия, что в значительной степени обесценивает их.

По цвету круга можно получить некоторое представление о степени бакелизации. Необточенный, правильно забакелизированный круг имеет светло- или темно-коричневую окраску. Зеленый цвет указывает на недобакелизацию, черно-коричневый — на чрезмерно высокую температуру бакелизации. Цвет изделия определяется не только температурой бакелизации, но и многими другими факторами: видом абразивного материала, свойствами бакелита и увлажнителя, условиями бакелизации. Поэтому в каждом отдельном случае следует испытуемое изделие сравнивать с эталоном.

Рассматривая изделие под бинокулярной лупой, можно получить представление о правильности проведения режима бакелизации по степени оплавления и растекания смолы, а о законченности режима — по виду связки (хорошо забакелизированная связка прозрачна, янтарного цвета, недобакелизированная — мутная, с зеленоватым оттенком).

По Згоннику, о степени бакелизации можно судить по коэффициенту преломления связки: он растет по мере бакелизации, при перегреве изделия в связке обнаруживается графит. Этот способ позволяет практически не разрушать изделия, а достаточно взять пробу порядка 0,1 г.

Типы бакелизаторов (вулканизаторов)

Для термической обработки инструмента на органических связках применяют два типа бакелизаторов или вулканизаторов: туннельные непрерывного действия и камерные периодического действия. Туннельный бакелизатор (вулканизатор) (рис. 6.3) представляет собой вытянутую в длину камеру — туннель *1* длиной 25 м, шириной 1,8 м и высотой 2 м. Стены туннеля выложены металлическими панелями *5*, заполненными шлаковатой. Внутри туннеля по рельсовому пути *2* на вагонетках *3* перемещаются металлические многоярусные этажерки *4* с инструментом, проходящим бакелизацию (вулканизацию).

Теплоносителем в бакелизаторе (вулканизаторе) является воздух, нагреваемый в электрических калориферах *7*, установленных под потолком рабочей камеры. В калориферах используются трубчатые электронагреватели *9*, эксплуатируемые при непосредственном контакте с нагревательными средами (газообразными или жидкими) и обладающие надежностью при вибрациях и ударных нагрузках и надежной изоляцией корпуса нагревателя от напряжения.

Рециркуляция теплоносителя обеспечивается вентиляторами *6*, установленными вдоль одной из стен туннеля. Во время термической обработки в туннельном бакелизаторе инструмент проходит один и тот же путь, подвергаясь последовательному воздействию заданных температур в отдельных зонах бакелизатора, имеющего шесть участков, в каждом из которых поддерживается контрольно-измерительными приборами (КИП) своя заданная температура:

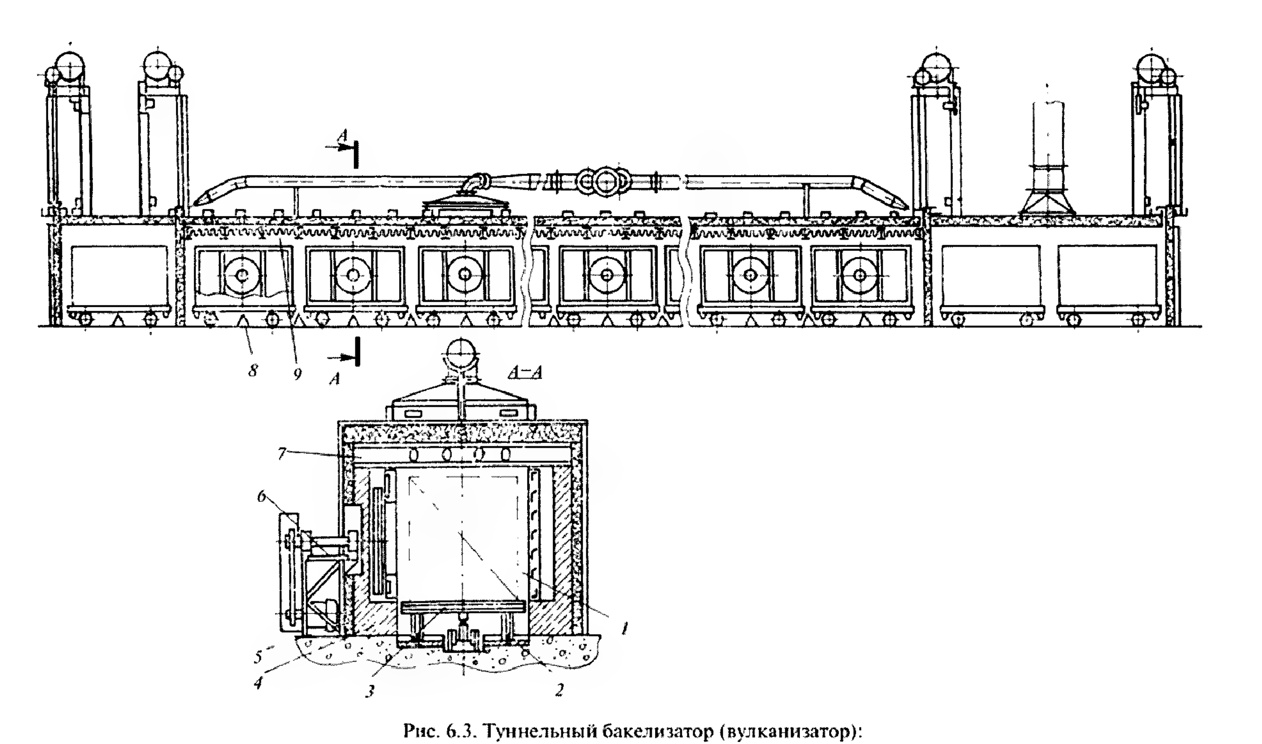


Рис. 6.3. Туннельный бакелизатор (вулканизатор):

1 — камера-туннель; *2* — рельсовый путь; *3* — вагонетки; *4* — многоярусная этажерка; *5* — металлические панели; *6* — вентиляторы; *7* — калориферы; *8* — шаговый толкатель; *9* — трубчатые электронагреватели

в первой зоне — 100 °C, во второй — 120 °C, в третьей — 140 °C, в четвертой — 160 °C, в пятой — 170 °C, в шестой — 120 °C.

Для перемещения многоярусных этажерок внутри бакелизатора используется шаговый толкатель *8* (рис. 6.4), который при шаге вперед перемещает состав этажерок на длину одной этажерки и возвращается в исходное положение. Каждая этажерка *9* перемещается отдельным упором *8*, установленным на штанге толкателя *7* при ходе штанги вперед, а при возврате упор с осью этажерки отклоняется вперед и проходит под ней, что позволяет создавать разрывы между этажерками для размещения в них внутренних дверей *6* и тамбура *5* бакелизатора. Штанга с закрепленными на ней упорами *8* и зубчатой рейкой *4* лежит на роликах *3* и перемещается вперед-назад с помощью привода *2*, состоящего из электродвигателя, редуктора и шестерни. В начале и конце бакелизатора установлены конечные выключатели *1*, ограничивающие ход штанги вперед и назад.

Производительность однотуннельного бакелизатора (вулканизатора) — до 10000 т/год — зависит от ассортимента и размещения инструмента на этажерке. Расход электроэнергии на 1 т готовой продукции — 130–140 кВт·ч, а в камерных бакелизаторах — 200–210 кВт·ч.

Преимуществами туннельных бакелизаторов (вулканизаторов) являются непрерывность их действия, значительно меньшие потери тепла по сравнению с камерными бакелизаторами.

В отличие от туннельного в камерном бакелизаторе имеется только одна тепловая зона, поэтому температурный режим в камере изменяется по заданной программе и включает стадии нагрева, бакелизации (вулканизации) и охлаждения.

На рис. 6.5 представлен двухкамерный бакелизатор, состоящий из камер *1*, внутри которых рециркулирует горячий теплоноситель — воздух (показан стрелкой *2*). Рециркуляция теплоносителя обеспечивается вентиляторами *3*, установленными в боковых стенках, а нагрев теплоносителя осуществляется в электрических калориферах *7*, установленных внутри камеры под потолком. В качестве нагревательных элементов в калориферах используются трубчатые электронагреватели *8*. Стены и потолок камер выложены металлическими панелями, заполненными шлаковатой *6*. В камеры по рельсовому пути *4* закатываются этажерки *5* с инструментом, проходящим бакелизацию (вулканизацию). Бакелизатор имеет заборные окна и трубопроводы вытяжной вентиляции *9* и оборудован КИП и термоэлектрическими преобразователями *10* для замера

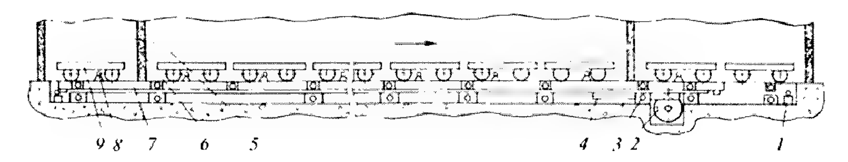


Рис. 6.4. Шаговый толкатель:

1 — конечные выключатели; *2* — привод толкателя; *3* — ролики; *4* — зубчатая рейка; *5* — тамбур бакелизатора; *6* — внутренние двери; *7* — штанга толкателя; *8* — упоры; *9* — этажерки

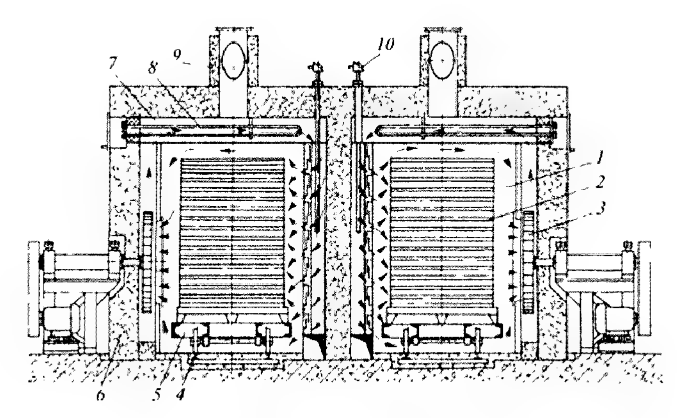


Рис. 6.5. Бакелизатор (вулканизатор) двухкамерный:
1 — камера; *2* — теплоноситель (горячий воздух); *3* — вентилятор; *4* — рельсовый путь; *5* — этажерка; *6* — шлаковата; *7* — электрический калорифер; *8* — трубчатые электронагреватели; *9* — трубопроводы вытяжной вентиляции, *10* — термоэлектрические преобразователи

Таблица 6.9

Электрические бакелизаторы (вулканизаторы) для термической обработки абразивного инструмента

Модель бакелизатора (вулканизатора)	Вид транспорта	Размеры рабочего канала, м			Диаметр заготовок, мм	Мощность нагрева, кВт
		Ширина	Высота	Длина		
Однотуннельный БТЭР-1,5-21	Рельсовый	1,5	1,75	21	До 500	260
Двухтуннельный Б2ТЭР-1,5-21		1,5	1,75	21	До 500	520
Однотуннельный БТЭР-1,5-30		1,5	1,75	30	600–900	5
Однокамерный БКЭР-1,5-2,5		1,5	1,75	2,5	До 900	50
Двухкамерный Б2КЭР-1,5-2,5		1,5	1,75	2,5	До 900	100
Однотуннельный БТЭК-0,9-21	Конвейерный транспортер	0,9	1,75	21	До 500	280
Двухтуннельный Б2ТЭК-0,9-21		0,9	1,75	21	До 500	560
Однотуннельный БТЭК-0,9-30		0,9	1,75	30	300–600	320
Двухщелевой Б2ЩЭ-1,1-5,0	Подкладные плиты с заготовками перемещаются по направляющим толкателем	1,1	0,24	5	–	–
Шестищелевой Б6ЩЭ-0,8-20		0,8	0,40	20	300–600	200

и регулирования температур в камерах. Камерные бакелизаторы (вулканизаторы) работают при температуре не более 220 °С.

В табл. 6.9 представлены характеристики бакелизаторов (вулканизаторов), наиболее широко применяемых в абразивной промышленности.

6.4. Абразивный инструмент для обдирочного шлифования

Обдирочное шлифование (зачистка) является одним из наиболее производительных и экономически эффективных способов обработки заготовок — проката, слябов. С помощью обдирочного шлифования достигается высокое качество обработки и создаются возможности для регенерации и использования отходов металла (стружки), что особенно важно при обработке дорогостоящих легированных сталей — быстрорежущих, коррозионно-стойких и др. [340, 341].

Существуют следующие виды обдирочного шлифования.

1. Обычное — с относительно малыми усилиями прижима круга (до 2 кН), скоростями круга (35—50 м/с) и продольными подачами (до 15 м/мин); мощность станков не превышает 50 кВт. Такое шлифование осуществляется кругами из электрокорунда марки 14А. Производительность обработки в этом случае не превышает 100 кг/ч, коэффициент шлифования 0,8—3. Использование отходов шлифования при таких значениях коэффициента шлифования не представляется возможным.

2. Силовое — с усилиями прижима 5—7 кН, скоростью круга 60 м/с и продольной подачей до 30 м/мин; мощность станков для силового шлифования составляет 75—80 кВт. Силовое шлифование осуществляется кругами из циркониевого электрокорунда и обеспечивает значительное повышение эксплуатационных показателей: производительность — 200—300 кг/ч, коэффициент шлифования — 20—30. Возможна регенерация и использование отходов шлифования, так как на 1000 кг металла в отходах приходится всего 30—50 г абразива.

3. Высокоскоростное силовое — с усилиями прижима 10 кН и более, скоростью круга до 80 м/с, продольной подачей 30—60 м/мин, мощностью станков 110—160 кВт. Интенсификация режимов обработки и использование специальных высокопрочных кругов из крупнозернистого (с размером зерен 2—4 мм) циркониевого электрокорунда обеспечивает производительность шлифования 375—400 кг/ч и коэффициент шлифования 40 и более. Полная массовая наработка круга при высокоскоростном силовом шлифовании достигает 3000—5000 кг металла.

Разработка основ технологии изготовления абразивного инструмента для силового и высокоскоростного силового шлифования со скоростью 60—80 м/с

Применение новых мощных станков и переход к скоростному высокоэффективному шлифованию потребовали создания принципиально нового инструмента, обладающего высокими прочностными свойствами черепка, гарантирующими безопасную эксплуатацию инструмента при скорости 60—80 м/с и силе резания 500—1000 кгс, повышенными теплофизическими свойствами,

обеспечивающими его работу при интенсивных тепловых нагрузках без охлаждения, и высокими эксплуатационными показателями.

При обдирочном шлифовании блюмсов и слябов, при удалении различных дефектов с поверхности стального литья и металлопроката в зоне шлифования развиваются температуры, близкие к температуре плавления шлифуемого металла.

Шлифовальное зерно традиционных абразивных материалов — электрокорунда нормального, титанистого и др. — не обеспечивает высоких показателей по их прочности и термостойкости, поэтому для изготовления обдирочных скоростных кругов был разработан высокопрочный и термостойкий циркониевый электрокорунд (ЭЦ) [342], представляющий собой сплав оксида алюминия и диоксида циркония, близкий по составу к эвтектическому.

Структура ЭЦ представлена кристаллами корунда размерами 5–30 мкм и диоксида циркония 1–15 мкм.

В табл. 6.10 представлен химический и фазовый состав циркониевого электрокорунда различных марок.

Особенностью абразивных изделий для скоростного обдирочного шлифования является их высокая плотность (3,0–3,2 г/см^3), практически полное отсутствие пор, высокое содержание связующего (30 % по объему). Указанные обстоятельства обусловливают необходимость создания такого режима термообработки, который обеспечивал бы наиболее полное удаление летучих из органических составляющих без деформации изделий, а также получение максимальной прочности и высоких эксплуатационных свойств инструментов.

Установлено, что скоростной обдирочный инструмент, обладающий вышеперечисленными свойствами, может быть изготовлен методом горячего прессования при высоких удельных давлениях [343].

Технологический процесс изготовления скоростного обдирочного инструмента методом горячего прессования отличается от существующих процессов

Таблица 6.10

Химический и фазовый состав циркониевого электрокорунда различных марок

Марка	Зернистость	ZrO_2	Химический элемент, мас. %							ZrO_2 тетрагональный, мас. %, не более
			Al_2O_3, не менее	SiO_2	Na_2O	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	
				Не более						
38А9–0, 38А9	320–125	23–26	72,0	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	Не более 0,50	30
38А8	320–125	Не менее 22,0	72,0	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30		–
38А7	100–16		72,0	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30		–
38А6–0, 38А6	320–125	Не менее 24,0	65,0	1,5	–	–	–	–	Не менее 1,0	–
38А5	320–125		65,0	2,0	–	–	–	–	Не менее 1,0	–
38А4	160–125	Не менее 23,0	65,0	2,0	–	–	–	–	Не менее 1,0	–
38А3	100–16		65,0	2,0	–	–	–	–	Не менее 1,0	–

Примечания: 1. Показатель массовой доли ZrO_2 тетрагонального факультативный.

2. Допускается поставка по согласованию с потребителем шлифматериалов марок 38А6-0, 38А6, 28А5, 38А4 и 38А3 с содержанием TiO_2 не более 1 %.

как рецептурой, приемами изготовления абразивных масс, так и методами их формования. Рецептура абразивных масс (кроме новых марок абразивного зерна и связок) отличается высоким содержанием зерна, использованием сложных зерновых композиций, высоким содержанием связок, низким содержанием увлажнителя, а также введением в массы специальных наполнителей и добавок, приводящих к увеличению прочностных, теплотехнических и эксплуатационных свойств изделий.

В работе [344] установлено, что связующее для производства абразивного инструмента методом горячего прессования должно удовлетворять следующим требованиям: обладать минимальной свободной текучестью расплава, необходимой для заполнения свободных объемов; максимальным временем желатинизации при минимальном времени отверждения; иметь максимальную теплостойкость (жесткость) в горячем состоянии; выделять минимальное количество летучих продуктов отверждения.

Повышение температуры каплепадения смолы со 100–120 до 136–145 °С значительно улучшает физико-механические свойства наполненных образцов (табл. 6.11).

Авторами [345, 346] была разработана высокомолекулярная (950–1200 °С) фенолформальдегидная смола СФ-0119 регулируемой структуры с малым содержанием свободного фенола (2 %) и высокой температурой каплепадения. Высокая молекулярная масса смолы обеспечила ее повышенную прочность в отвержденном состоянии, а высокая температура каплепадения обусловила практически полное отсутствие подвижности расплава в свободном состоянии, низкое содержание мономера (фенола) привело к снижению выделения летучих.

На основе смолы СФ-0119, модифицированной гексаметилентетрамином и поливинилбутиралем (ПВБ), Кемеровским НИИ химической промышленности были разработаны две новые марки связующих для производства абразивного инструмента методом горячего прессования — СФП-0119А и СФП-0119А1. Свойства этих смол приведены в табл. 6.12. Выбор ПВБ в составе смолы обусловлен его высокой клеящей способностью, обеспечивающей повышение адгезии связки к зерну.

Таблица 6.11

Физико-механические свойства композиций на основе фенолформальдегидной смолы с различной температурой каплепадения

Фенолоформальдегидная смола			Разрушающее напряжение при испытании композиций, МПа	
Температура каплепадения, °С	Содержание фенола, %	Потери при бакелизации, %	при статическом изгибе (наполнитель – древесная мука)	при растяжении (наполнитель – шлифовальное зерно)
100–120	4,0–6,0	2,0	–	10–15
136–145	2,0	2,0	91	25–28
150–153	–	0,7	92	25–27
154–165	0,6	0,6	98	26–28
170–172	1,0	0,8	99	26–29

Таблица 6.12

Свойства связующих СФП-0119А и СФП-0199А1

Показатели	Марки связующих	
	СФП-0199А (ОСТ 6-41-78)	СФП-0199А1 (ТУ 6-05-231-189-78)
Уротропин, мас. %	8,5–9,5	8,5–9,5
Текучесть по стеклянной пластине, мм, не более	16	18
Время желатинезации, с	50–85	50–150
Потери при бакелизации, %, не более	2,0	2,0
Вязкость 50 %-ного раствора, МПа·с	220–340	–
Содержание поливинилбутирала, %	3,0	–
Свободный фенол, мас. %, не более	2,0	–

Процессы, происходящие при термообработке новых фенолформальдегидных смол, изучались в ряде работ [347, 348]. Данные термографического анализа (рис. 6.6) позволили определить динамику выделения летучих. Установлено, что выделение газообразных продуктов при отверждении этого связующего имеет максимум в трех областях температур:

1) интервал температур до 120 °С с максимумом скорости выделения летучих в области 80–90 °С. Общее содержание летучих составляет около 1 % от массы связующего при наличии в их составе: газов и влаги, адсорбированных связующим;

2) интервал температур 120–150 °С с максимумом в интервале 130–135 °С. Общее содержание летучих в этом случае составляет 3 % от массы связующего, а летучие представляют собой продукты реакции распада уротропина и отверждения смолы (аммиак, конденсационная вода, свободный фенол и димеры — изомеры диоксидифенилметана);

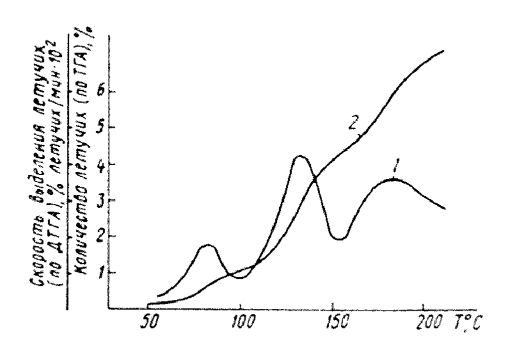


Рис. 6.6. Дифференциальная кривая ТГА (*1*) и кривая зависимости потерь массы образцов связующего СФП-0119А от температуры (*2*) при термогравиметрическом анализе

3) интервал температур выше 150 °С. Протекание реакции отверждения сопровождается выделением аммиака и свободного фенола в примерно равных количествах, а также димеров. Общие потери составляют около 3 % от массы связующего.

Найденные закономерности процесса отверждения связующего позволили установить оптимальные режимы термообработки абразивных изделий.

При изготовлении абразивных изделий с использованием в качестве связующего СФП-0119А, а в качестве увлажнителя — жидкой резольной смолы БЖ-6 (по ТУ 6-05-1715—75) был предложен и исследован метод термообработки с учетом описанных выше закономерностей отверждения смолы. Определено также влияние условий проведения отдельных стадий термообработки на прочность готовых изделий. В этом случае целесообразно производить термообработку в три стадии: 1) подсушка предварительно отпрессованных холодным способом заготовок; 2) горячее прессование изделий (до нулевой пористости); 3) дополнительная бакелизация. Подсушка предварительно отпрессованных заготовок, имеющих поры объемом около 25 % от объема заготовки, производится в целях удаления влаги и летучих, содержащихся в связующем и увлажнителе. В табл. 6.13 представлены свойства инструмента в зависимости от режима термообработки, явно показавшие резкое увеличение прочности изделий при наличии стадии подсушки (опыт 2) по сравнению с изделиями, полученными при прямом горячем прессовании без предварительной подсушки массы (опыт 1).

Как следует из данных табл. 6.13, наличие стадии подсушки (опыт 2) приводит к резкому увеличению прочности изделий по сравнению с их прочностью при прямом горячем прессовании (опыт 1); оптимальные результаты получаются при подсушке изделий в течение 5 ч при температуре 70 °С (опыт 3). Авторами показано также, что увеличение температуры подсушки выше 70 °С недопустимо в связи с началом оплавления связующего при температуре около 80 °С, что замедляет выделение летучих и приводит к неполному их удалению.

Цель второго этапа термообработки — горячего прессования — получение изделий с заданной плотностью и достижение отверждения связующего. Режим горячего прессования должен обеспечивать изготовление изделий без их деформации, обычно обусловленной резким выделением летучих в момент

Таблица 6.13

Зависимость свойств инструмента от режима термообработки

Номер опыта	Подсушка		Горячее прессование		Дополнительная бакелизация		Предел прочности на разрыв, $\sigma_р$, МПа	Разрывная скорость кругов, м/с	Допустимая рабочая скорость, м/с
	Температура, °С	Время, ч	Температура, °С	Время, ч	Температура, °С	Время, ч			
1	Без подсушки	–	130	0,5	Без дополнительной бакелизации		16,4	90	50
2	70	5	130	0,5	То же		25,2	135	70
3	70	5	130	0,5	"		25,5	135	70
4	70	5	130	0,5	180	6	20,0	120	60
5	70	5	130	0,5	160	6	25,0	130	70

снятия давления. Оптимальным режимом является горячее прессование высушенных изделий при температуре 130 °С с выдержкой, равной 1 мин на 1 мм высоты изделия. При этой температуре происходит наиболее интенсивное оплавление связки под давлением, а также максимальное выделение летучих продуктов реакции (см. табл. 6.13, опыт 3).

Третий этап термообработки — дополнительная бакелизация — имеет целью углубление процесса сшивки молекул связующего, что вызывает увеличение твердости изделий, снятие напряжений и увеличение стабильности свойств. Этот этап протекает без увеличения прочности изделий, однако при эксплуатации крупногабаритных кругов установлено, что круги, прошедшие окончательную стадию термообработки — дополнительную бакелизацию, обладают большей стойкостью и производительностью (см. табл. 6.13, опыты 4 и 5).

Абразивный инструмент, изготовленный по двух-, трехстадийной технологии, используют при обдирочном шлифовании заготовок и отливок со скоростью 60—70 м/с и усилии резания 5 кН, обеспечивая коэффициент шлифования 18—20.

Наиболее производительным способом изготовления силового обдирочного инструмента является метод одностадийного горячего прессования, при котором формовочная смесь помещается в охлажденную пресс-форму и формуется до заданного размера при температуре 150—180 °С и давлении 45—50 МПа. Формовочные смеси для одностадийного формования характеризуются высоким содержанием порошкообразных компонентов при минимальном содержании увлажнителя. Для таких смесей целесообразно использовать связующее с более продолжительным временем желатинизации и с высокой подвижностью расплава, чем для связующего СФП-0199А. Таким связующим является СФП-0119А, которое используется в сочетании с фурфуролом (объемная доля 1 %), но в отсутствии поливинилбутираля. Это увеличивает подвижность расплава, что позволяет увеличить объем зерна в круге до 62—64 % и при необходимости вводить дополнительные волокнистые и порошкообразные наполнители. При этом получают изделия, имеющие прочностные характеристики на 20—30 % выше, чем прочностные характеристики кругов, изготовленных двухстадийным методом, что обеспечивает рабочую скорость шлифкругов 80 м/с, усилие резания до 10 кН и коэффициент шлифования 30—45.

6.5. Технологические схемы производства кругов на бакелитовой связке для обдирочного шлифования

6.5.1. Технология изготовления абразивного инструмента на бакелитовой связке для обдирочного шлифования со скоростью 50 м/с и для чистового шлифования со скоростью 40 м/с

Изготовление абразивного инструмента твердостью СМ—ВТ для обдирочного и чистового шлифования производится методом холодного прессования и термообработкой в бакелизаторе; технологическая схема производства представлена на рис. 6.7. В качестве шлифматериала используют электрокорунд нормальный и черный карбид кремния (зернистостью 25—125); шлифзерно регене-

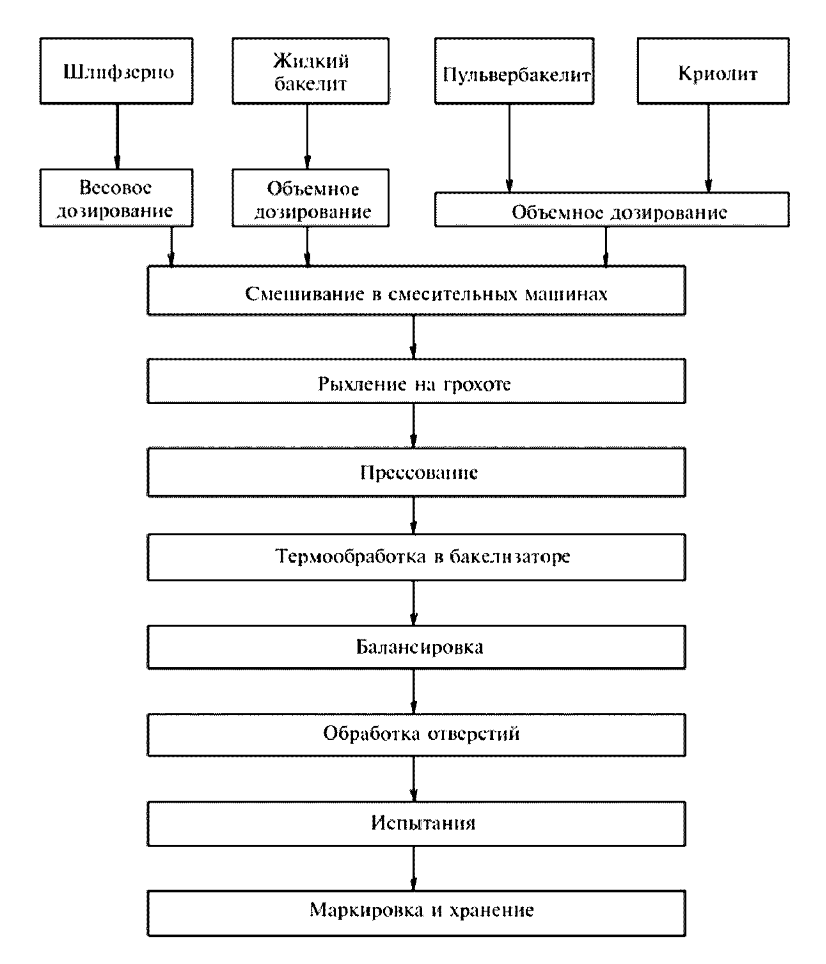


Рис. 6.7. Технологическая схема производства абразивного инструмента для обдирочного шлифования со скоростью 50 м/с и чистового шлифования со скоростью 40 м/с

рированное из отходов шлифкругов на бакелитовой связке; порошкообразное связующее — пульвербакелит (ПБ); жидкий бакелит марки БЖ-3; криолит. Все материалы должны соответствовать действующим ГОСТам и ТУ.

Перед запуском в производство шлифматериалы и все дополнительные компоненты должны иметь температуру 18—20 °С. Пульвербакелит просеивается на подвесном сите с сеткой № 1,25—1,0 в целях удаления комков, а криолит —

через сетку № 1,0–0,8 для шлифкругов зернистостью 160–63 и № 05–0315 для шлифкругов зернистостью 50–16.

Жидкий бакелит применяется вязкостью до 15 с; более вязкий бакелит требует подогрева или разведения растворителями (спиртом, ацетоном, фурфуролом).

Порядок растворения высоковязкого бакелита следующий: высоковязкий бакелит заливается в расходный бак с паровой рубашкой, в котором подогревается в течение 0,5–1,0 ч, после чего проверяется его вязкость. При вязкости более 15 с жидкий бакелит должен быть растворен одним из вышеперечисленных растворителей. При растворении спиртом последний с 25 % воды выливается в бак, и в него постепенно при непрерывном перемешивании сливается подогретый высоковязкий бакелит.

Расход спирта и фурфурола для растворения высоковязкого бакелита представлен в табл. 6.14.

Приготовление формовочных смесей производится при температуре 18–20 °С в смесительных машинах любой конструкции.

Рецептуры абразивных смесей приведены в табл. 6.15. Очередность загрузки компонентов и длительность их смешивания должны быть такими: шлифзерно + + жидкий бакелит — 3–4 мин; криолит — 1–1,5 мин; пульвербакелит — 0,5–1,0 мин; всего — 4,5–6,5 мин. Для уменьшения пылеобразования вместе с жидким бакелитом заливается 200 ч. веретенного или трансформаторного масла.

После окончания смешивания полученная смесь просеивается через сетку № 2,0–2,5 в кюбель.

Во вновь приготовленную смесь разрешается добавлять остатки массы от предыдущей смены, а также раздробленный и рассеянный брак сырых кругов в количестве не более 5 кг на мешалку.

Операция формования заготовок кругов производится на гидравлических прессах усилием 6,3 МН. Пресс-форма перед засыпкой в нее смеси тщательно протирается смазкой.

Смазка для пресс-форм изготавливается из парафина и керосина в весовом соотношении 1 : 1. Взвешенный парафин помещается в емкость и подогревается до расплавления, после чего его греют 15–20 мин и вливают в емкость взвешенный керосин. Смесь тщательно перемешивают. Смазка готова к употреблению после остывания до 20–25 °С. В процессе бакелизации абразивного

Таблица 6.14

Расход спирта и фурфурола для растворения высоковязкого бакелита до требуемой вязкости

Вязкость бакелита, с	Расход спирта, кг	Расход форфурола, кг	Требуемая вязкость, с
337	19,6	–	15
110	16,8	–	15
91–100	–	30	15
91–100	–	34	2–7
14–20	–	4,5	8–15
14–20	–	8,0	2–7

Таблица 6.15

Примеры составов формовочных смесей при изготовлении абразивного инструмента на органической связке для обдирочного шлифования (V_p — 35–50 м/с)

Состав формовочной смеси, %	Источник информации	Авторы
Абразивный материал 91А – 70–75 Жидкий бакелит – 5–8 Пульвербакелит – 10–12 Шамотно-карбидокремниевая смесь – 8–12	SU 1255413 A (51) 4 B24 D 3/34 3/04. Опубл. 07.09.86. Бюл. № 33	И.И. Монахов, А.И. Кураков, В.А. Иванилов, В.М. Киркач, В.Л. Круглов, З.В. Кояшина
Абразивный материал 14А – 77 Жидкий бакелит БЖ-3 7,7 + хлорид – 7,7 Алюминий – 0,2–0,5 Пульвербакелит – 7,6 Криолит – 7,7	SU 1579751 A1A (51) 5 B24 D 3/28. Опубл. 23.07.90. Бюл. № 27	В.М. Климович, Ю.А. Сидоренко
Абразивное зерно – 80,0–93,3 Жидкий бакелит – 3,8–16,2 Порошкообразное фенольное связующее и наполнители – 16,2 1,3	SU 1611719 A1 (51) 5 B24 D 3/28. Опубл. 07.02.90. Бюл. № 45	В.Н. Бехтерев, В.В. Райт, Ф.М. Ромазапов
Абразив – 72,0–85,3 Органическое связующее – 9–14 Криолитизированный кремнезем – 1,6–6,5 Соединение кальция остальное	SU 1036512 A3 (51) B24 D 3/28. Опубл. 23.08.83. Бюл. № 31	М.И. Брагина, А.Г. Морозова, В.Г. Бамбуров, Л.И. Богачева, А.А. Пыльнев, А.А. Керзаков, Б.Л. Фесенко, А.С. Корабицын
Абразивное зерно Жидкий увлажнитель (резольная смола с содержанием фенола до 20 % и влаги 6–7 %) Порошкообразный связующий (аминометилированный поликсифенилметилен). Увлажнитель и связующее берут в соотношении 1:3–1:4	А. с. 445566 (51) М КЛ B24 D 3/20. Опубл. 05.10.74. Бюл. № 37	С.Н. Бреслер, К.Н. Кумсков, А.И. Смирнова, А.М. Юферов
Абразив – 54,0–96,0 Синтетическая смола – 2,99–15,30 Наполнители (пирит, криолит) – 1,0–30,0 Фторсилоксановое масло – 0,01–0,70	А. с. 476153 (51) М КЛ B24 D 3/00, B24 D 3/34. Опубл. 05.07.75. Бюл. № 24	О.Н. Лангин
Нормальный электрокорунд – 14А–40 100 Нормальный электрокорунд – 14А–12 11 Фурфурол – 0,25 Фенолформальдегидная смола СФП-0119А – 1,5 Криолит – 1,12 Поглотительное масло – 0,31 Хлорпарафин – 0,31	SU 1060452 A 3 (51) B24 D 3/20, B24 D 3/34. Опубл. 15.12.83. Бюл. № 46	С.П. Суров
Абразивное зерно – 70–80 Жидкий бакелит – 4–5 Пульвербакелит – 5–6 Пирит – 4–5 Криолит – 4–7 Асбест – 2–3 Ортофосфорная кислота – 1–4	А. с. 775116 (51) МКЛ^3 C09 K 3/4. Опубл. 30.10.80. Бюл. № 40	А.Ш. Овсянников, Л.А. Волович, И.П. Козыряцкий, И.С. Шевлюк-Белова

Состав формовочной смеси, %	Источник информации	Авторы
Электрокорунд нормальный, электрокорунд циркониевый в соотношении 50 : 50 54,0 Органическое связующее – 27,0 Наполнитель — пирит - 14,0 Окись кальция – 3,0 Увлажнитель — 75 %-ный раствор эпоксидной смолы в фурфуроле – 2,0	А. с. 823102 51 МКЛ^3 В24 D 3/20. Опубл. 23.04.81. Бюл. № 15	С.Н. Бресслер, И.Я. Жабин, Г.В. Костин В.Н. Кумсков и др.
Карбид кремния зеленый 63С 25 100 Пульвербакелит - 6,5–17,0 Жидкий бакелит - 2,3–3,2 Калий борфтористый – 10,0–16,0	А. с. 810471 (51) МКЛ^3 В24 D 3/34. Опубл. 07.03.81. Бюл. № 9	Г.И. Саютин, В.А. Носенко, В.П. Сиротин, С.В. Татаринкова и др.
Карбид кремния зернистостей 160, 125, 100 в соотношении 1 : 1 : 1 - 52–62 Органическое связующее – 24–29 Увлажнитель - 1-6 Минеральный наполнитель – 8–18	А. с. 818845 (51) МКЛ^3 В24 D 3/28. Опубл. 07.04.81. Бюл. № 13	М.Г. Эфрос, Х.А. Мамин, Е.Я. Туник, С.Н. Бреслер и др.

инструмента она испаряется с поверхности изделия, а затем при остывании в виде скоксовавшейся сажи и парафина оседает на лопастях вентиляторов и в трубопроводах вытяжной вентиляции.

Авторы [349] предлагают смазку "соапсток" из светлых масел (по ТУ 18 РСФСР 564–74), представляющую собой мыльно-щелочной раствор неконцентрированный с содержанием до 20 % растительных жиров. Соапсток не имеет недостатков, свойственных парафино-керосиновой смазке, нетоксичен, абсолютно безвреден и не оказывает иссушающего воздействия на кожу рук. Температура вспышки соапстока не зафиксирована при нагревании смазки до 500 °С, он неогнеопасен.

Навеска для сырого круга взвешивается на весах с точностью до ±0,5 % и высыпается в пресс-форму, где тщательно разравнивается плоской ровнялкой. При формовании скоростных кругов (50 м/с) навеска смеси делится на две равные части, засыпается первая половина навески, разравнивается, укладывается точно по центру кольца пресс-формы арматурное кольцо, затем засыпается вторая половина навески и тщательно разравнивается плоской ровнялкой; обе навески засыпаются строго на керн.

Формование кругов производится до заданной высоты. Манометрическое давление при прессовании является ориентировочным для настройки высоты круга по первым трем-четырем кругам. Отклонение высоты заформованных кругов не должно превышать ±1 мм. Все изделия высотой более 25 мм формуются с подпрессовкой, которая осуществляется с помощью буксирных плит для изделий высотой свыше 100 мм. Свежезаформованные круги вручную снимаются с рабочей плиты и укладываются на плиты вагонеток, которые затем направляются на бакелизацию.

Бакелизация шлифкругов осуществляется в камерных электробакелизаторах, оборудованных приборами для контроля и автоматического ведения ре-

жима бакелизации. Температура в камерах бакелизаторов в момент загрузки изделий не должна превышать 60 °С, колебания показаний температуры на регулирующих приборах разрешаются в пределах ±10 °С от заданного режима.

Режим бакелизации, например, для кругов диаметром 450 мм: t = 100–105 °С — 1 ч; 105 °С — 1 ч; 105–110 °С — 1 ч; 110–115 °С — 1 ч; 115–120 °С — 1 ч; 120–140 °С — 1 ч; 140–160 °С — 1 ч; 160–180 °С — 1 ч; 180–190 °С — 1 ч; 190–200 °С — 1 ч; 200 °С — 1 ч; остывание — 2 ч; итого — 13 ч.

После окончания бакелизации отключаются нагревательные элементы, и камеры вентилируются в течение 30 мин, затем вагонетки выкатываются под зонт охлаждения. Охлажденные изделия разгружаются по партиям в стопки. Для предотвращения возможности воспламенения конденсированных горючих осадков и нормальной работы вентилятора внутренняя поверхность его кожуха и лопасти должны очищаться не реже одного раза в месяц.

Шлифкруги, имеющие отклонения размеров посадочного отверстия от допускаемых по ГОСТу, проходят калибровку или расточку отверстий.

Калибровка отверстий диаметром 76 мм производится парафиново-канифольной смесью, содержащей парафина 85 вес. ч. и канифоли 15 вес. ч.; наибольший слой калибровки — 5 мм. Отверстия диаметром 203 мм калибруются смесью, состоящей из нитроэмали № 624 50 вес. ч. и талька 50 вес. ч.; смесь перемешивается до однородного состава без крупинок и комков.

Расточка отверстий производится на сверлильных станках чугунной дробью зернистостью № 100–80 при помощи специальных оправок-сверл: круг устанавливается на столе, в отверстие насыпается металлическое зерно, включается станок, сверло подводится к отверстию, и производится расточка. После обработки круги отправляются на контроль, который осуществляется по следующим параметрам: геометрические размеры должны соответствовать ГОСТ 2424–85; неуравновешенность — первого, второго и третьего класса по ГОСТ 3060–86; механическая прочность — по ГОСТ 12.3.028–86 и ГОСТ 30513–97; твердость — по ГОСТ 18118–79.

Маркировка, упаковка, хранение и транспортировка осуществляются по ГОСТ 27595–97.

6.5.2. Технология изготовления абразивного инструмента диаметром 500–600 мм для обдирочного шлифовиния со скоростью 60–80 м/с

Изготовление абразивного инструмента диаметром 500–600 мм для обдирочного шлифования производится методом горячего прессования с термообработкой в три стадии (сушка, горячее прессование, бакелизация). Технологическая схема производства представлена на рис. 6.8.

При изготовлении шлифовальных кругов для обдирочного шлифования применяются: электрокорунд нормальный, титанистый зернистостью 160–125, 40; карбид кремния зеленый зернистостью 12; связующее марки СФП-0119А; увлажнитель — жидкий бакелит марки БЖ-6; наполнители — криолит, пирит; арматурные металлические кольца; бумага газетная; смазка ЦИАТИМ-221.

Абразивные материалы, связующие, наполнители и другие компоненты должны храниться при температуре 18–20 °С, связующее пульвербакелит

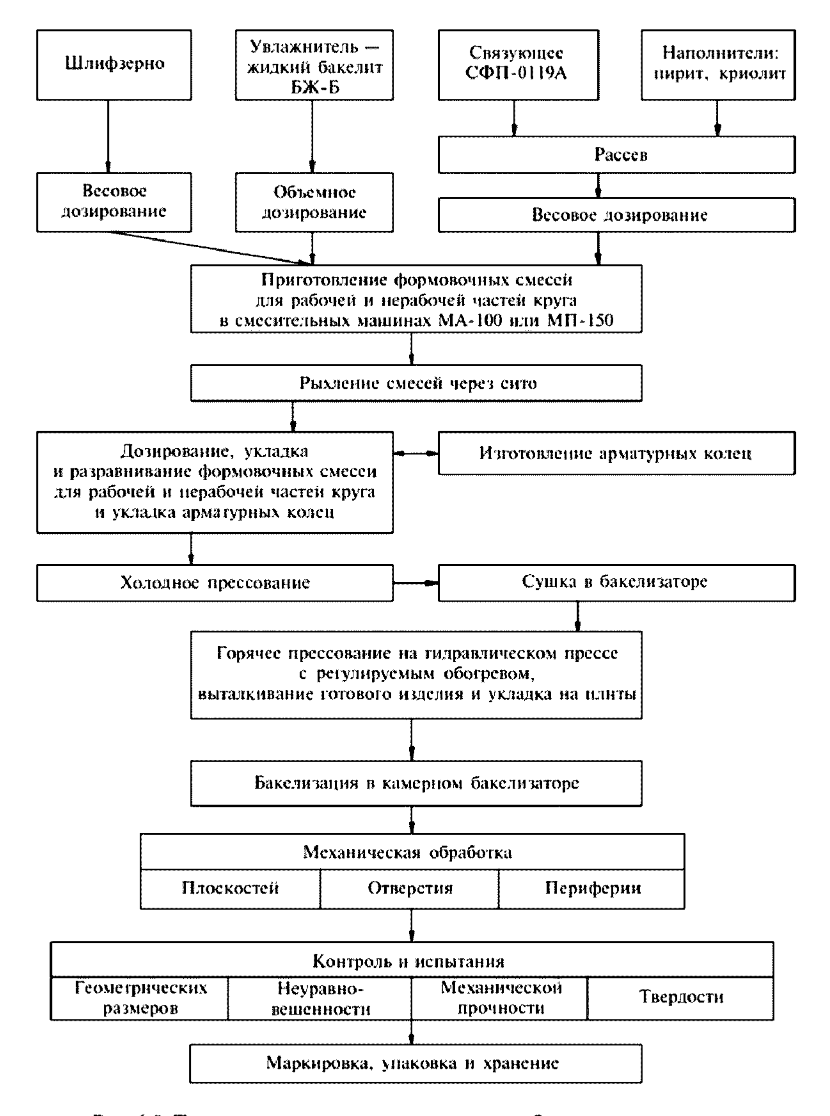


Рис. 6.8. Технологическая схема производства абразивного инструмента диаметром 500−600 мм методом горячего прессования для обдирочного шлифования со скоростью 60−80 м/с

протирается через сито № 02-04, наполнители — через сито № 0315-04; жидкий бакелит должен использоваться вязкостью в пределах 3–10 с.

Операция приготовления формовочных смесей производится отдельно для рабочей части круга и мелкозернистой середины в смесительных машинах типа МЛ-100 или ТП150 по рецептуре, представленной в табл. 6.16. Очередность загрузки компонентов в смесительные машины и время смешивания: смесь абразивных зерен и пирит — 1–2 мин, увлажнитель — 5 мин, наполнитель (криолит) — 10 мин, связующее — 5–7 мин.

Формовочные смеси для рабочей и нерабочей частей круга дозируются в специальные емкости, которые затем транспортируются к позиции.

Операция формования заготовок кругов производится методом холодного прессования на механизированном гидравлическом прессе усилием 630 т·с в пресс-форме, обеспечивающей заданные размеры изделия с учетом припусков на обработку. Размер мелкозернистой середины, например, для кругов диаметром 600 — 310 мм.

Пресс-форма устанавливается на тележку пресса, в которую с помощью центрирующего вкладыша (рис. 6.9) укладывается разделительное кольцо (рис. 6.10).

Взвешенное количество крупнозернистой смеси для рабочей части круга загружается в пресс-форму и разравнивается, затем производится навеска мелкозернистой смеси для середины круга, которая делится по весу на три равные части и после загрузки первой и второй частей навесок в пресс-форму укладывается по одному армирующему кольцу с помощью центрирующего вкладыша (см. рис. 6.9). После загрузки каждой части навески мелкозернистой части смесь разравнивается и утрамбовывается. Перед прессованием разделительное кольцо извлекается из пресс-формы и укладывается верхняя формовочная плита.

Холодное прессование заготовок кругов производится при удельном давлении 15–20 МПа в зависимости от состояния смеси. Хранение заформованных изделий при температуре 16–25 °С допускается не более одних суток.

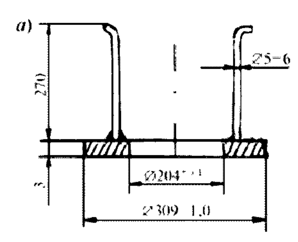
Таблица 6.16

Рецептуры абразивных смесей для рабочей и нерабочей (мелкозернистой) частей круга

Рабочая часть круга *		Мелкозернистая середина **	
Наименование компонента	Абразивная смесь, мас. %	Наименование компонентов	Абразивная смесь, мас. %
Шлифматериалы — электрокорунд нормальный титанистый зернистостью: 160–125 40	 80,0 20,0	Шлифматериалы — карбид кремния марки 64С; 63С зернистостью 12	100,0
Увлажнитель — БЖ 6	0,5	Увлажнитель — фурфурол	1,8
Связующее-СФП-0119 А	14,2	Связующее — СФП-0119 А	20,9
Наполнители: Криолит Пирит	 18,0 7,0	Наполнители: Криолит Пирит	 25,6 25,6

* Объемный вес круга – 3,06 г/см³.

** Объемный вес круга – 2,5 г/см³.



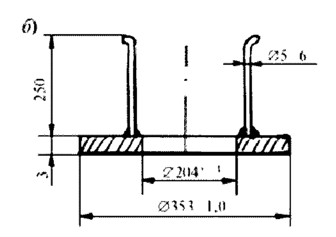


Рис. 6.9. Центрирующий вкладыш: для установки разделительного кольца (*а*) и для укладки арматурных колец (*б*)

Сушка заготовок кругов производится в камерном бакелизаторе с регулируемым обогревом; температура загрузки — 18–20 °С. Заготовки кругов, уложенные на подкладные силуминовые плиты, устанавливаются на вагонетку. Подъем температуры — до 75±5 °С в течение 1,5–2 ч в зависимости от загрузки бакелизатора. Выдержка при данной температуре производится в течение 10 ч, затем выключается обогрев и открываются двери бакелизатора. Высушенные изделия могут храниться до операции горячего прессования при температуре 18–25 °С не более трех суток.

После сушки круги поступают на операцию горячего прессования, которая производится на гидравлическом прессе усилием 20 МН, снабженном нагревательными плитами с регулируемым обогревом до 200 °С и вытяжной вентиляцией для отвода газов (паров фенола).

Пресс-форма устанавливается на плиту, имеющую температуру 150 °С. Перед загрузкой заготовки в пресс-форму укладывается нижняя плита, стенки формы смазываются олеиновой кислотой, а на рабочую плиту укладывается прокладка из газетной бумаги. Затем, после укладки заготовки круга, в пресс-форму устанавливается верхняя плита и подается давление. Удельное давление прессования должно быть не более 45 МПа. Общее время выдержки под давлением — 1 ч. Через 5 мин после начала прессования давление на 1 мин снимается для выпуска летучих веществ. Затем давление снова подается, и через 2–3 мин вновь выпускаются летучие. После окончания выдержки под давлением производится выталкивание круга из пресс-формы и очистка ее поверхности от затеков смеси, после чего она смазывается смазкой ЦИАТИМ и производится прессование следующего круга. Хранение кругов при температуре 16–25 °С допускается в течение одних-трех суток.

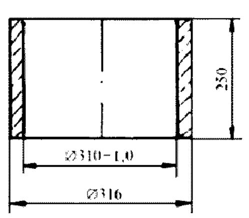


Рис. 6.10. Разделительное кольцо

Окончательная термическая обработка кругов (бакелизация) производится в камерном бакелизаторе с регулируемым обогревом до 200 °С. Отпрессованные круги, уложенные на подкладные силуминовые плиты, устанавливаются на вагонетку и загружаются в камеру бакелизатора при температуре 16–25 °С. Подъем температуры в камере бакелизатора производится до 160 °С в течение 3–4 ч в зависимости от загрузки бакелизатора. Выдержка при температуре

160±5 °С составляет 10 ч, после чего обогрев выключается и бакелизатор с изделиями охлаждается при закрытых дверях до температуры 80–70 °С, затем двери бакелизатора открываются и производится выгрузка кругов. Разработанные режимы позволили получать практически беспористые изделия с плотностью 3,1–3,3 вместо 2,0–2,5 кг/м^3 при холодном прессовании (табл. 6.17).

После термической обработки круги подвергаются полной механической обработке — плоскости обрабатываются на плоскошлифовальном станке КШ-62 чугунной дробью, а отверстия и периферия — на токарно-лобовом станке модели РТ-103 металлическими конусами. По окончании механической обработки круги отправляются на контроль, который осуществляется по следующим параметрам: геометрические размеры должны соответствовать ГОСТ 2424–85; неуравновешенность — первый и второй класс по ГОСТ 3060–86; механическая прочность — по ГОСТ 12.3.028–86 и ГОСТ 30513–97 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52588–2006); твердость по ГОСТ 18118–79 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52587–2006).

Маркировка, упаковка, хранение и транспортирование осуществляются согласно ГОСТ 27595–97.

Эксплуатационные показатели кругов при скорости 60 м/с и усилии прижима 5000 Н указаны в табл. 6.18. Следует отметить, что при рабочей скорости кругов 60–80 м/с и силе врезания 1000 кгс производительность съема металла

Таблица 6.17

Свойства обдирочных кругов для силового высокоскоростного шлифования

Вид операции прессования	Пористость, %	Плотность, кг/м^3	Разрушающее напряжение, МПа			Разрушающее напряжение при ударе, МПа·см	Теплостойкость, °С	Разрывная скорость, м/с
			при растяжении	при изгибе	при сжатии			
Горячее прессование	0	3,0–3,4	22,0 32,0	50,0–70,0	300,0	0,5	250	140
Холодное прессование	Более 10	До 2,5	13,0 18,0	30,0–40,0	80,0	0,2	120	90

Таблица 6.18

Эксплуатационные показатели кругов при скорости 60 м/с и усилии прижима 5000 Н

Характеристика шлифовального круга	Марка обрабатываемого металла	Модель станка	Режущая способность круга, кг/ч	Коэффициент шлифования, кг металла/ кг абразива
ПП 600 × 75 × 305 38А 200 ЧТБ	Х 18Н 10Т	3304И-30	221	22,4
ПП 600 × 75 × 305 38А 200 ЧТБ	08Х 18Н 10Т	3304И-30	163	40,2
ПП 500 × 63 × 203 38А 200 ЧТБ	ЭП220	ХШ7-02-НЗМ	84	10,6

Характеристика шлифовального круга	Марка обрабатываемого металла	Модель станка	Режущая способность круга, кг/ч	Коэффициент шлифования, кг металла/ кг абразива
ПП500 × 63 × 203 38А 200 ЧТБ	ЭИ867	ХШ7-02-НЗМ	89	12,4
ПП500 × 63 × 203 38А 200 ЧТБ	ЭП109	ХШ7-02-НЗМ	80	13,3
ПП500 × 63 × 203 38А 200 ЧТБ	12Х 18Н 10Т	М7400А	108	24,3

составляет примерно 300 кг/мин, а коэффициент шлифования — 20–40 кг металла/кг абразива. При рабочих скоростях круга 40–50 м/с и силе врезания примерно 250 кгс производительность падает до 70 кг/мин, а коэффициент шлифования — до 2,5–5,0 кг металла/кг абразива.

6.5.3. Технология изготовления на механизированной линии абразивного инструмента диаметром 600–800 мм для обдирочного шлифовиния со скоростью 80 м/с

Изготовление абразивного инструмента диаметром 600–800 мм для обдирочного шлифования, работающего со скоростью 80 м/с, производится методом горячего прессования с термообработкой в две стадии (горячее прессование, бакелизация). Технологическая схема такого производства представлена на рис. 6.11.

Для изготовления шлифовальных кругов для обдирочного шлифования применяются: циркониевый электрокорунд марки 38А5 зернистостей 200 и 125; зеленый карбид кремния марки 63С или 64С зернистостью 12; связующее марки СФП-0119А1; увлажнитель — фурфурол технический; наполнители — криолит, пирит, известь негашеная молотая; смазка ЦИАТИМ-221.

Перед запуском в производство все компоненты должны иметь температуру 18–20 °С. Связующее и наполнители просеиваются через сита № 02-04 и № 0315-04 соответственно.

Приготовление абразивных смесей производится при температуре 18–20 °С отдельно для рабочей части круга и мелкозернистой середины в смесительной машине модели СМ-200П. Рецептуры абразивных смесей приведены в табл. 6.19, 6.20, а очередность загрузки компонентов в смесительную машину и время перемешивания таковы: шлифматериал — 1–2 мин; увлажнитель — 1–2 мин; смесь связующего и наполнителей — 5 мин. После приготовления каждая смесь протирается через сито (№ 1,0 — для мелкозернистой середины; № 5,0 — для рабочей части круга) и может храниться не более 3 ч.

Формовочные смеси для рабочей и нерабочей частей круга взвешиваются и дозируются в специальные емкости, которые затем транспортируются к позиции укладки смесей в пресс-формы.

Сборка пресс-форм, дозирование и укладка смесей и армированных колец в пресс-формы, горячее прессование и выталкивание из пресс-форм готовых изделий производятся на механизированной линии конструкции Волжск-ВНИИМАШа.

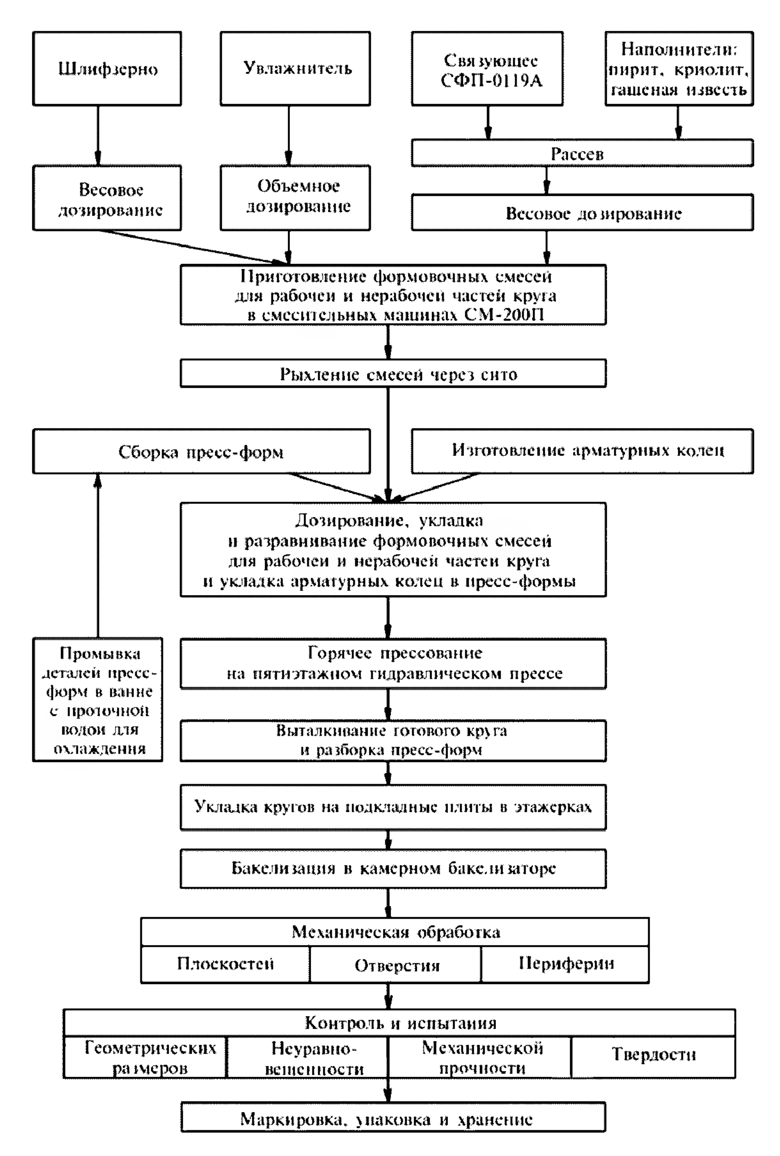


Рис. 6.11. Технологическая схема производства на механизированной линии абразивного инструмента диаметром 600–800 мм для обдирочного шлифования со скоростью 80 м/с

Таблица 6.19

Рецептура формовочных смесей для рабочей и нерабочей (мелкозернистой) частей круга

Рабочая часть круга *		Мелкозернистая середина **	
Наименование компонентов	Абразивная смесь, мас. %	Наименование компонентов	Абразивная смесь, мас. %
Шлифматериалы — электрокорунд марки 38А, зернистостью:		Шлифматериалы — карбид кремния марки 64С; 63С зернистостью 12	100,0
200	40,0		
160	30,0		
125	30,0		
Увлажнитель — фурфурол	0,5	Увлажнитель — фурфурол	1,8
Связующее — СФП-0119 А	14,2	Связующее — СФП-0119 А	20,9
Наполнители		Наполнители	
Пирит	9,8	Пирит	9,2
Известь гашеная	4,0	Криолит	20,5
		Известь негашеная	6,0

* Объемный вес круга — 3,06 г/см³.
** Объемный вес круга — 2,5 г/см³.

Горячее прессование производится на гидравлическом прессе, оборудованном плитами с регулируемым обогревом и системой вытяжной вентиляции для отвода газов (предельная концентрация паров в окружающей среде не должна превышать 5 мг/см³).

Каждая пресс-форма поочередно подается на позицию загрузочного стола пресса специальным устройством, а затем на плиты пресса. Прессование осуществляется при температуре печей 160±5 °С и удельном давлении 500 кг/см². Через 5 мин после начала прессования давление на 1 мин снимается для выпуска летучих веществ. Время выдержки под давлением для кругов диаметром 600 мм — 1 ч, диаметром 800 мм — 1 ч 10 мин.

Извлечение пресс-форм из-под пресса производится поочередно специальным устройством стола пресса, передающего их на позицию накопления перед выталкивающим устройством. Выталкивание заформованного изделия осуществляется выталкивателем усилием 2,5 МН. После извлечения кругов из пресс-формы кольцо и керн пресс-формы передаются по рольгангу в ванну (конструкции ВолжскВНИИАШа) для охлаждения в проточной воде до температуры 40–50 °С, а рабочие плиты по двухъярусному рольгангу — к позиции сборки пресс-форм. Извлеченный из пресс-формы круг перемешается на рольганг выталкивателем, а затем на подкладную плиту этажерки, имеющей вертикальное перемещение для загрузки кругов и горизонтальное — для установки ее на вагонетку бакелизатора. Круги укладываются в стопки на силуминовые плиты так, чтобы между верхней плоскостью круга и следующей металлической плитой был зазор 5–10 мм. Бакелизация производится в камерном бакелизаторе с регулируемым обогревом и механическим перемешиванием воздуха по следующему режиму: подъем температуры до 160±5 °С произвольный; выдержка при t = 160±5 °С — 10 ч; охлаждение при закрытых дверях бакелизатора (время не нормируется).

Таблица 6.20

Составы формовочных смесей, обеспечивающие изготовление инструмента с рабочей скоростью $v_р$ = 80–120 м/с

Состав формовочной смеси, %	Источник информации	Авторы
Циркониевый электрокорунд зернистостью 250, 165, 125 в соотношении 2 : 1 : 1 – 54–62 Фенолформальдегидная смола СФП-0119А1 23 29 Увлажнитель — фурфурол – 1–3 Наполнитель Пирит 5,8–14,0 CaO – 1–3 Сланцевое масло 0,2 3,0	А. с. 984847 (51) МКЛ^3 В24 D 3/20. Опубл. 03/01/82. Бюл. № 48	С.Н. Бреслер, А.И. Вольфсон, А.И. Смирнова, В.П. Смородинников, И.Г. Удилова, И.Х. Роокс, И.Ю. Ваймасте
Электрокорунд циркониевый 38А 200 – 45,0 Электрокорунд нормальный 14А 32 7,7 Фенолформальдегидная смола СФП-0119А – 19,6 Увлажнитель — фенолформальдегидная смола (60 %) + этиловый спирт (40 %) 6,0 Криолит – 5,3 Недообожженный известняк 5,3 Кокс – 9,6 Антраценовое масло 1,5	А. с. SU1220763A (51) 4 В24 D 3/20. Опубл. 30.03.86. Бюл. № 12	Б.Л. Фисенко, А.А. Пыльнев, В.С. Ярков, Ю.А. Бородин, В.Г. Бамбуров
Корундовое зерно 74,0–75,5 Органическое связующее 9–13 Криолит 8 10 Известь – 1,5–2,5 Каменноугольный кокс – 4–6	1004084 (51) МКЛ^3 В24 D 3/26, В24 D 3/34. Опубл. 15.03.83. Бюл. № 10	В.С. Вдовченко, Б.Л. Фисенко, Г.И. Барыкин, Г.С. Вдовченко, А.Н. Коломайко, В.С. Пыжов, Л.Р. Тагер, И.Л. Жабин, А.П. Куликов, В.П. Смородинников, И.Г. Удалова, В.Ф. Соколов
Абразивное зерно 38А 160 или 14А 125 – 52–59 Увлажнители — жидкая резольная смола с содержанием фенола 19–20 % и влажностью 7 % 7 6 Порошкообразное связующее — механическая смесь поливинилацеталя (5–12 %), фенолформальдегидного конденсата (78–87 %), обработанного острым паром и имеющего температуру каплепадения более 130 °С, уротропин (8 12 %) 23 24 Наполнители — пирит и криолит 11 18	А. с. 680868 (51) МКЛ^2 В24 D 3/30. Опубл. 25.08.79. Бюл. № 31	С.Н. Бреслер, М.Н. Исаев, В.Н. Кумсков, В.А. Рыбаков, А.И. Смирнов, А.М. Юферов, В.Н. Жучин, К.С. Толстопятов, И.Л. Жабин
Шлифовальное зерно 35 50 Органическое связующее 6–15 Жидкий бакелит вязкостью 55–150 с – 5 10 Алюминий 5 10 Карбид кремния 10 15 Гранулированный стеклопластик 5–30	А. с. 1147552. Опубл. 30.03.85. Бюл. № 12	Ю.Ф. Юликова, Г.П. Зайцев, А.П. Пыльнев, Л.В. Чикалова, Т.Г. Караченцева, А.П. Куликов, В.Е. Бахарева
Режущая и центральная упрочняющая часть круга, которая выполнена на основе стекловолокнистого наполнителя и связующих смол с добавлением триэтаноламинотитаната эксаминовой и эпоксидной диановой	А. с. 1002140; 29222638/25-08; (51) МКЛ^3. Заявл. 08.05.80	Ю.Ф. Юликова, Г.П. Зайцев, Т.Г. Караченцева, Л.Н. Лупинович, В.А. Лапицкий, Л.В. Петрова, В.Е. Бахарева, Л.И. Лившиц

Механическая обработка плоскостей кругов осуществляется на плоскообдирочном станке модели КШ-64 чугунной дробью, периферии и отверстия — на токарно-лобовом станке модели РТ103 абразивным инструментом на керамической связке.

По окончании механической обработки круги отправляются на контроль, который осуществляется по следующим параметрам: геометрические размеры должны соответствовать ГОСТ 2424–83; неуравновешенность первого и второго класса — по ГОСТ 3060–86; механическая прочность по ГОСТ 12.3.028–86 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52588–2006) и ГОСТ 30513–97; твердость – по ГОСТ 18118–79 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52587–2006).

Маркировка, упаковка, хранение и транспортирование производятся согласно ГОСТ 27595–97.

6.6. Отрезные круги на бакелитовой связке

Отрезные круги на бакелитовой связке выпускаются по ГОСТ 21963–2002 "Круги отрезные. Технические условия" двух типов: 41 — плоские (диаметром от 50 до 1800 мм) и 42 — с утопленным центром (диаметром от 400 до 1250 мм), с упрочняющими элементами (BF) и без упрочняющих элементов (B), предназначены для резки и прорезки металлических (M) и неметаллических (NM) материалов (рис. 6.12).

Отрезные круги изготавливаются методами холодного и горячего прессования из электрокорундовых (A) и карбид-кремниевых (C) материалов зернистостью 125–5 (F16–F220) по ГОСТ 3647–80.

К отрезным кругам предъявляются особые требования — высокая прочность и упругость при небольшой высоте круга. При работе отрезными кругами на операцию отрезки затрачивается меньше времени, значительно снижается расход металла по сравнению с другими способами разрезки, при

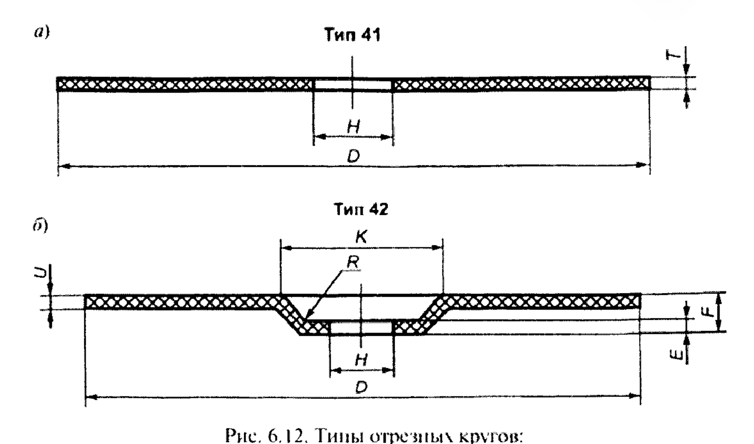


Рис. 6.12. Типы отрезных кругов:
а – плоские; *б* — с утопленным центром

этом получают более качественные поверхности среза, часто не требующие дальнейшей обработки. Механическая прочность кругов без упрочняющих элементов на бакелитовой связке обеспечивает их работу со скоростью 50–63 м/с, а с упрочняющими элементами на бакелитовой связке — со скоростью 60–125 м/с. В качестве упрочняющего элемента используется стеклосетка. Круги без упрочняющих элементов изготавливаются диаметром от 50 до 500 мм и высотой от 0,3 до 5,0 мм, круги с упрочняющими элементами — диаметром от 50 до 1500 мм и высотой 2,0–15,0 мм. Основные размеры отрезных кругов приведены в табл. 6.21, 6.22.

Таблица 6.21

Основные размеры отрезных кругов типа 41

D, мм	*T*, мм	*H*, мм
50	0,3; 0,6; 1,0; 2,0; 2,5; 3,2	10
63	0,3; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2	10; 13
80	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2	10; 13
100	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2	10; 13; 16; 20
115	1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,2	22; 23
125	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,2	13; 20; 22; 23; 32
150	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,2; 4,0	13; 20; 22; 23; 32
180	1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,2;4,0	22; 22; 23; 32
200	1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,2; 4,0	20; 32
230	1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,2; 4,0	22; 22; 23; 32
250	1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,0; 3,2; 4,0	20; 25,4; 32
300	2,0; 2,5; 3,0; 3,2; 4,0; 6,0	22; 23; 25,4; 32; 40; 51
350 (356)	2,5; 3,2; 4,0	22; 23; 25,4; 32; 40
400 (406)	3,2; 4,0; 5,0	25,4; 32; 40; 51; 60
450 (457)	3,2; 4,0; 5,0	25,4; 32; 40; 51; 60
500 (508)	4,0; 5,0; 6,0	32; 40; 51; 60
600 (610)	5,0; 6,0; 8,0	32; 40; 51; 76,2
750 (762)	6,0; 8,0	60; 80; 100; 152,4
800	6,0; 8,0; 10,0	60; 80; 100
900	8,0; 9,0	100
1000	8,0; 10,0; 13,0	80; 100; 152,4
1200	10,0; 13,0	100; 127
1250	10,0; 13,0	100; 152,4; 203,2
1500	13,0; 15,0	150; 152,4; 203,2
1800	16,0; 20,0	203,2; 304,8

Примечания: 1. Размеры, заключенные в скобках, применять не рекомендуется.

2. По заказу потребителя допускается изготовлять круги размерами, отличными от указанных в таблице.

3. Предельное отклонение для $H = 10$ мм должно быть +0,21 мм.

Таблица 6.22

Основные размеры отрезных кругов типа 42

D, мм	$U = E$, мм	H, мм	K, мм	F_{min}, мм	R_{max}, мм
80	2,0; 2,5; 3,2	10	23	4	6
100	2,0; 2,5; 3,2	16	35,5	4	6
115; 125; 150; 180; 200	2,0; 2,5; 3,0; 3,2; 4,0	22; 23	42; 45	4,6	10
400 (406)	4,0; 5,0; 6,0	40	122	7,5	10
450 (457)	4,0; 5,0; 6,0	40	122	7,5	10
500 (508)	5,0; 6,0	40; 60	122	7,5	10
600 (610)	6,0; 8,0	60; 76,2	210	13	10
800	8,0; 10,0	60; 80; 100	210	13	10
1000	10; 13	127	325	18	12
1250	13; 16	127	325	18	12

Примечания: 1. Размеры, заключенные в скобках, применять не рекомендуется.

2. По заказу потребителя допускается изготовлять круги размерами, отличными от указанных в таблице.

3. Предельное отклонение для H = 10 мм должно быть +0,21 мм.

Технологическая схема производства отрезных кругов типа 41 диаметром 600 мм методом холодного формования представлена на рис. 6.13.

Для изготовления отрезных кругов применяются: электрокорунд нормальный марки 14А зернистостью 63, электрокорунд белый марки 25А, карбид кремния черный марок 53–54С зернистостью 125–5; ориентировочно принято применять крупное зерно для обдирочного и чернового шлифования, мелкое и тонкое зерно – на отдельных операциях; связующее фенольное порошкообразное марки СФП-011 или СФП-011А; увлажнитель — жидкий бакелит марки БЖ-3 с вязкостью 8–10 с; наполнитель – криолит марок К1 и К0; стеклосетка марки СПАП или СПАП-М; пленка полиэтиленовая; бумага электропроводящая марки ЭТБ.

Поступающие в производство криолит и связующее фенольное порошкообразное просеиваются через сито с сеткой № 025.

Из стеклосетки СПАП обыкновенными вырубными штампами производится вырубка трех дисков по размерам, соответствующим диаметру круга (например, для кругов диаметром 600 мм с отверстием диаметром 127 мм один диск размером 609 × 129 мм (с учетом размеров пресс-формы) и два диска размером 475 × 129 мм). Вырубленные диски из стеклосетки подвергают термообработке, укладывая их в виде стопы из 20–30 штук по режиму 150 °С в течение 1 ч. Из полиэтиленовой пленки и прокладочной бумаги также вырубаются диски тех же размеров, что и из стеклосетки.

Отрезные круги на бакелитовой связке изготавливаются методом холодного и горячего прессования.

Приготовление формовочной смеси производится в смесительных машинах различных моделей по рецептуре, приведенной в табл. 6.23, 6.24.

Последовательность введения компонентов в смесительную машину и время смешивания: смесь абразивных материалов — 3 мин; абразивные материалы

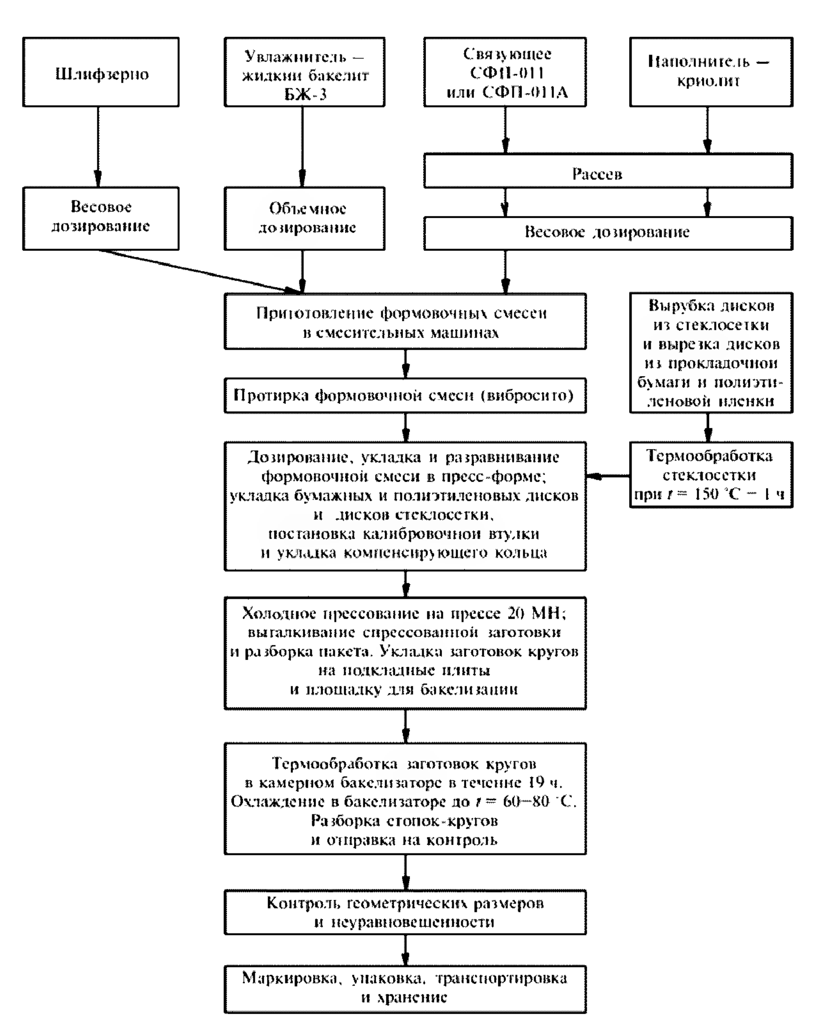


Рис. 6.13. Технологическая схема производства отрезных кругов диаметром 600 мм на бакелитовой связке

Таблица 6.23

Рецептура формовочной смеси для изготовления отрезных кругов твердостью Т2–ВТ

Состав прессуемой массы круга, его структура и плотность	Твердость			
	Т2	ВТ	Т2	ВТ
Нормальный электрокорунд 14А 63	80	80	40	41,7
Белый электрокорунд 24А 50	–	–	40	41,7
Черный карбид кремния 54С 25	17,0	17,0	17,0	16,6
Жидкий бакелит БЖ3	6,8	6,3	7,0	6,5
Криолит	12,4	12,7	12,4	12,7
Связующее фенольное порошкообразное	11,2	10,5	11,0	10,3
Структура	5	4	5	4
Плотность, г/см^3	2,5	2,65	2,5	2,65

Таблица 6.24

Состав формовочных смесей для изготовления отрезных кругов

Состав формовочной смеси, %	Источник информации	Авторы
Абразив – 74,8–76,0 Жидкий бакелит – 5,6–5,9 Пульвербакелит – 9,3–10,5 Криолит – 6,4–7,1 Железный сурик – 2,3–2,8	А. с. SU 1771939 A1 (51) 5 B24 D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента. Опубл. 30.10.92. Бюл. № 40	В.Г. Лендел, И.М. Балот, А.Ю. Сани, М.Ю. Кияк, Ю.В. Мигалина, Н.Д. Билинец, В.В. Драгунов, М.Н. Мельникович
Абразивный порошок – 100,0 Жидкий бакелит – 5,5–5,7 Пульвербакелит – 11,0–18,5 Криолит – 5,0–11,0 Цинк – 0,03–0,65 Оксид цинка – 0,3–5,5	А. с. 663574 A1 МКЛ^2 B24 D 3/28, B24 D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента. Опубл. 25.05.79. Бюл. № 19	Ю.Д. Семечко, В.И. Суровцев, И.А. Усков, В.А. Богданович, Ю.Д. Абрашкевич, Г.Н. Лысюк, Ю.А. Новиченко, И.Е. Еременко, Г.А. Сотников
Шлифзерно 14А 63-11 – 80–82 Жидкий бакелит БЖ3 – 4 Пульвербакелит СФП-011А – 8 Криолит – 3 $Al(OH)_3$ – 3–5	А. с. SU 1202736 A (51) 4 B24 D 3/28, B24 D 3/34. Абразивная масса. Опубл. 07.01.86. Бюл. № 1	А.П. Курносов, Н.А. Карпова, Л.Г. Пицына, И.Л. Жабин, С.И. Хацко, Н.И. Фомкин, В.И. Дудин
Абразивное зерно 14А 30, 64С 70 – 100,0 Жидкий бакелит – 9,0 Криолит – 5,0 Титаноэросил – 0,09–0,36	А. с. SU 1114538 A B24 D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента. Опубл. 23.09.84. Бюл. № 35	Г.В. Сандул, С.Н. Свешников, П.С. Яремов, Л.Ф. Петрова, А.И. Хома, П.В. Сушко, В.И. Пятаков, В.А. Борисов, И.С. Зайцев, В.Б. Еленевич

Состав формовочной смеси, %	Источник информации	Авторы
Шлифзерно 93 А80 — 65-77 Связующие Жидкий бакелит БЖЗ — 11-17 Пульвербакелит СФП-012А — 11-17 Наполнители Криолит — 10-15 Пирит — 10-15 Мелкодисперсионные отходы восстановления диоксида кремния - остальное	А. с. SU 1743827 A1 B24 D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента. Опубл. 30.06.92. Бюл. № 24	А.П. Курносов, А.С. Терехов, Л.Г. Пицына, В.Ф. Соколов, В.А. Стружинский, А.А. Кругликов, Н.В. Спицкий, Э.В. Коняшина, А.Ф. Антипов, К.В. Камаева, Э.Е. Фомин, Е.С. Дунюшкин
Абразив Крупная фракция — 8,0–18,0 Основная фракция — 27,5–39,0 Дополнительная фракция — 8,5–20,5 Увлажнитель — 8,5-11,0 Наполнитель — 7,0–19,5 Связующее — 16,0–22,8	А. с. 950513 (51) МКЛ^3. Масса для изготовления абразивного инструмента. Опубл. 15.08.82. Бюл. № 30	Л.Н. Лупинович, Г.И. Орехов, Х.А. Мамин, Е.М. Венциевич, Г.Ф. Володько
Абразивное зерно 14А — 73,0–78,0 Жидкий бакелит — 4,6–7,0 Пульвербакелит — 8,3-13,2 Нитрат калия — 0,15–0,65	А. с. SU 956749 A1 51 (5) B24 D 3/28, B24 D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента. Опубл. 15.08.90. Бюл. № 30	А.М. Сыч, Ю.Д. Семечко, И.С. Зайцев, В.В. Скопенко, В.И. Пятаков, Л.Н. Евласов, Г.В. Сандул, В.И. Рожков

с жидким бакелитом — 1,5−2 мин; с наполнителем — 2 мин; со связующим фенольным порошкообразным — 1,5−2 мин.

Формовочные смеси, получаемые методом одностадийного смешивания, быстро слеживаются и характеризуются наличием "свободного" пульвербакелита, что исключает автоматическое дозирование, равномерное разравнивание такой смеси и стабильную твердость инструмента в одной партии. Авторы [350] предложили для получения свободнотекучей формовочной смеси использовать одновременно две смесительные машины: в одной производить увлажнение шлифматериала и пирита жидким бакелитом, а в другой смешивать сухие компоненты связки (фенольное порошкообразное и наполнители). Затем увлажненный шлифматериал небольшими порциями помещают в смесь сухих компонентов связки во вторую вращающуюся смесительную машину, где проходит окончательное смешивание формовочной смеси. Это позволило резко улучшить качество отрезных кругов (определенное попадание в заданную твердость, равномерность твердости в одном круге и повышение коэффициента шлифования отрезных кругов в 1,3−1,5 раза).

Готовая формовочная смесь просеивается через вибросито с сеткой № 3−5. После этого смесь должна быть использована для изготовления кругов не позднее чем через 4 ч после ее приготовления.

Навеска на один круг составляет:

$$P = V\gamma - P_1,$$

где V — объем круга, см^3; γ — плотность круга, г/см^3; P_1 — масса дисков из стеклосетки, закладываемых в круг, г.

Последовательность загрузки формовочной смеси в пресс-форму:

на нижнюю плиту пресс-формы укладывается диск полиэтиленовой пленки толщиной 0,3—0,5 мм, затем диск (475 × 129 мм) термообработанной стеклосетки и снова диск полиэтиленовой пленки, сверху диск из прокладочной бумаги;

засыпается первый слой формовочной смеси, равный 1/3 навески, и разравнивается пластинчатой ровнялкой;

на первый слой формовочной смеси укладывается диск (609 × 129 мм) стеклосетки диаметром на 4—5 мм меньше диаметра пресс-формы, засыпается второй слой формовочной смеси, равный 1/3 навески, и разравнивается ровнялкой;

укладывается диск стеклосетки (475 × 129 мм), засыпается и разравнивается третий слой формовочной смеси;

на третий разровненный слой формовочной смеси укладывается диск прокладочной бумаги, на керн пресс-формы насаживается калибровочная втулка и компенсирующее кольцо толщиной 0,5—0,7 мм, затем диск полиэтиленовой пленки, диск стеклосетки и снова диск полиэтиленовой пленки.

Прессование кругов производится "заподлицо" на гидравлическом прессе усилием 20 МН при удельном давлении 20—25 МПа с выдержкой под давлением 30—40 с, после чего давление снимается и круг выталкивается из пресс-формы. С боковых поверхностей заготовки снимаются верхний и нижний диски термообработанной стеклосетки, сцепленной с двух сторон полиэтиленовой пленкой для дальнейшего использования при прессовании заготовок, которые после формования 8—10 заготовок заменяются. С калибровочной втулки снимается компенсирующее кольцо, заготовка укладывается на подкладную силуминовую плиту.

Зaформованные заготовки укладываются на подкладную плиту друг на друга по 5 штук, сверху накрываются плитой, на которую снова помещается 5 кругов и т. д. до 55 кругов в стопке, 220 штук на площадке. Верхние заготовки накрываются плитой, на которую укладывается груз 15—20 кг. Такая площадка с установленными заготовками транспортируется на участок термообработки (бакелизации).

Термообработка кругов осуществляется в камерных бакелизаторах. Загрузка стопок в бакелизатор производится при температуре 60—70 °С. Режим термообработки: при температуре 90 °С время выдержки 2 ч, при 100 °С — 2 ч, при 120 °С — 4 ч, при 130 °С — 2 ч, при 145 °С — 2 ч, при 165 °С — 1 ч, при 180 °С — 2 ч, при 200 °С — 4 ч; итого: 19 ч.

Указанный режим термообработки представлен в работах авторов [351, 352] с описанием процессов, идущих в указанном диапазоне температур.

По окончании термообработки стопки с кругами охлаждаются в бакелизаторе до температуры 60—80 °С, после чего вынимаются, охлаждаются до комнатной температуры, разбираются и отправляются на контроль.

Контроль кругов производится по действующим ГОСТам и ОСТам.

Точность изготовления, неравномерность высоты, радиальные и торцевые биения и выпуклость плоскостей отрезных кругов регламентируются ГОСТ 21963–2002 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52587–2006), классы неуравновешенности — по ГОСТ 3060–86: первый и второй для зернистостей 63 и мельче; первый, второй или третий для зернистостей 80 и крупнее. Отрезные круги изготовляются по рецептуре, соответствующей звуковым индексам 25–49.

В табл. 6.25 представлен пример значения звуковых индексов в зависимости от показаний приборов "Звук 110М" и "Звук 107" при контроле кругов типа 41.

Коэффициент резания K (отношение площади разрезанной заготовки к площади изношенной части круга) при срабатывании круга до 0,75 от начального вычисляют по формуле

$$K = \frac{4S_з n}{\pi\left(D_к^2 - D_н^2\right)},$$

где n — количество резов круга; $S_з$ — площадь разрезаемой заготовки, см^2; $D_н$ и $D_к$ — диаметр круга до и после резки, см.

Коэффициенты резания отрезных кругов в зависимости от обрабатываемых материалов и режимов обработки приведены в табл. 6.26.

Пример условного обозначения круга типа 41 с наружным диаметром D = = 400 мм, высотой T = 4,0 мм, диаметром посадочного отверстия H = 32 мм, из нормального электрокорунда зернистостью 80–Н, со звуковым индексом (ЗИ) 41–43 на бакелитовой связке, с упрочняющими элементами для резки металла, с предельной рабочей скоростью 80 м/с, второго класса неуравновешенности: круг отрезной 41 400 × 4,0 × 32 14 А 80–Н 41–43 BF M 80 м/с 2 кл. ГОСТ 21963–2002.

Таблица 6.25

Значения звуковых индексов в зависимости от показаний приборов "Звук 110М" и "Звук 107" при контроле кругов типа 41

Звуковой индекс	Показания, кГц, для кругов размерами $D \times H$, мм											
	356 × 32				450 × 51				500 × 32			
25	От	2,83	до	3,07	От	2,23	до	2,42	От	2,02	до	2,18
27	Свыше	3,07	до	3,30	Свыше	2,42	до	2,61	Свыше	2,18	до	2,35
29	Свыше	3,30	до	3,54	Свыше	2,61	до	2,79	Свыше	2,35	до	2,52
31	Свыше	3,54	до	3,78	Свыше	2,79	до	2,98	Свыше	2,52	до	2,69
33	Свыше	3,78	до	4,01	Свыше	2,98	до	3,16	Свыше	2,69	до	2,86
35	Свыше	4,01	до	4,25	Свыше	3,16	до	3,35	Свыше	2,86	до	3,02
37	Свыше	4,25	до	4,48	Свыше	3,35	до	3,54	Свыше	3,02	до	3,19
39	Свыше	4,48	до	4,72	Свыше	3,54	до	3,72	Свыше	3,19	до	3,36
41	Свыше	4,72	до	4,96	Свыше	3,72	до	3,91	Свыше	3,36	до	3,53
43	Свыше	4,96	до	5,19	Свыше	3,91	до	4,10	Свыше	3,53	до	3,70
Частотный коэффициент формы F, м$^{-1}$	0,001180				0,000931				0,000840			

Таблица 6.26

Коэффициенты резания отрезных кругов в зависимости от обрабатываемых материалов и режимов обработки

Обозначение круга	Режим резания				Коэффициент резания, не менее
	Обрабатываемый материал	Подача, мм/мин	Рабочая скорость круга, м/с	Мощность двигателя, кВт, не менее	
41, 42 400 × 4 × 32 14А 63 Н80-Н35 39BFM	Сталь 10: труба 83 × 4 мм	200–300	80	15 (стационарные машины)	2,5
41, 42 400 × 4 × 32 51 С 63 Н35 39BFNM	Кирпич шамотный: 230 × 113 × × 65 мм	300–700	80	4 (стационарные машины)	30,0
41, 42 400 × 4 × 32 14А 40 Н33 37RM	Сталь 45: труба 25 × 4,5 мм	700–900	60	15 (стационарные машины)	0,90
41, 42 230 × 3,0 (2,5) × 22,23 14А 40 Н; 63 Н35-39 BFM	Сталь 10: труба 21,3 × 2,8 мм	200–300	80	1,8 (ручные и переносные машины)	1,5

Круги одного размера, одной характеристики и одной партии упаковываются в картонные коробки, обеспечивающие их сохранность при транспортировке и хранении. Допускается упаковывать круги в термоусадочную пленку. Транспортирование и хранение производятся по ГОСТ 27595–88.

Для увеличения прочности высокоскоростных отрезных кругов (более 80 м/с) авторы [353] ввели в формовочную смесь (2,0–6,0 % от объема массы круга) жидкий низкомолекулярный каучук, который перемешивается с жидким бакелитом. Этой смесью увлажняли абразивное зерно марки 14А, затем перемешивали с порошкообразной фенолформальдегидной связкой и наполнителями — криолитом и антимонитом. Введение каучука позволило повысить кажущуюся плотность круга, модуль упругости и рабочую скорость круга до 100 м/с.

Авторы [354] в целях увеличения разрывной прочности отрезных и обдирочных кругов предлагают в формовочную смесь, состоящую из карбида кремния (63–61 вес. ч.), фенольного связующего (13,5–14 вес. ч.) и криолита, ввести полиметилгидросилоксандиол или полиэтилгидросилоксан в количестве 1,5–2,0 вес. ч., что позволяет увеличить прочность на разрыв с 28 до 40 МПа.

В работе [355] для инструмента при скоростях резания выше 80 м/с (при работе на электрических и пневматических машинах на подвесных обдирочно-шлифовальных и напольных станках) предлагается в формовочную смесь, состоящую (мас. %): из абразивного зерна — 34,0–51,0, из органического связующего — 6–7, из наполнителей 7–9, ввести шлак производства углеродистого феррохрома (34,0–51,0 мас. %).

Авторы [356] для изготовления отрезных кругов, работающих с $V_р$ = 80 м/с и выше в формовочную смесь, состоящую из электрокорунда белого и карбида кремния (15–20 мас. %), вводят электрокорунд нормальный или циркониевый

Таблица 6.27

Оптимальные характеристики отрезных кругов и условия их изготовления для работы при скорости 80–100 м/с

Типоразмер круга	Отношение d/D	Характеристика круга	Число армирующих стеклосеток, шт.	Метод формования	Плотность, $\times 10^3$ кг/м^3	Физико-механические показатели, МПа			Разрывная скорость круга, м/с
						Прочность на разрыв	Прочность при изгибе	Модуль упругости	
Д 605 × 4,5 × 305	0,50	14А 50 Т1 БУ	1 (рабочая часть)	Холодное	2,5	–	55	1140	145
			3 (центральная часть)		2,5	32,0	–	–	145
Д 605 × 4,5 × 127	0,21	14А 63 Т2 БУ	1 (рабочая часть)	Холодное	2,5	–	53	1150	144–150
			3 (центральная часть)		2,5	21,0–22,0	65	2910	144–150
Д 400 × 2 × 25,4	0,06	14А 63 Т2 Б	–	Холодное	2,2	16,0	36	1010	142
Д 400 × 3 × 32	0,08	14А 50 Т1 Б	–	То же	2,2–2,3	–	41	812	–
Д 400 × 3 × 40	0,10	14А 50 СТ3 БУ	1	"	2,3- 2,4	14,6- 15,3	48	827	130
Д 400 × 5,5 × 32	0,08	15А 80 Т1 БУ	1 (рабочая часть)	"	2,4–2,5	–	50	802	156
			3 (центральная часть)	"	2,4–2,5	21,0- 22,0	64	-	156
Д 500 × 5 × 25,4	0,05	37А 80 Т2 БУ	–	Горячее	2,5–2,6	17,5–18,2	58	1150	140–150
	0,05	37А 80 Т2 БУ	1 (рабочая часть)	Теплое	2,5	–	48	–	145–150
	0,05	37А 80 Т2 БУ	3 (центральная часть)		2,5	19,7	–	3200	145–150

или их смеси при количественном соотношении от 3 : 1 и соотношении их зернистостей от 2 : 1 до 1 : 2.

В работе [357] определены оптимальные характеристики отрезных кругов и условия их изготовления, обеспечивающие эксплуатацию кругов при резке труднообрабатываемых металлов со скоростью 80–100 м/с (табл. 6.27):

1. Для обеспечения разрывной скорости кругов 142–150 м/с они должны иметь прочность на растяжение не менее 16 МПа, а на изгиб — 36 МПа. Армирование кругов повышает этот показатель на 20 % (при введении одного слоя стеклосетки) и в два раза (при наличии трех слоев стеклосетки).

2. Разрывная прочность кругов, не армированных стеклосеткой, повышается при их изготовлении методом горячего прессования.

3. С уменьшением отношения d/D от 0,5 до 0,2 (круги диаметром 600 мм), т. е. с диаметра отверстия с 305 до 127 мм, требования к прочности материала круга понижаются на 30 %, что облегчает как выбор материала, так и технологический процесс изготовления круга. Авторы [357] рекомендуют для каждой структуры отрезного круга оптимальную твердость и зернистость абразивного материала: для структуры № 7 — твердость СТ–СТ1 и зернистость 40–50; для структуры № 5 — СТ2–СТ3 и зернистость 63; для структуры № 4 — Т1–ВТ и зернистость 80.

Для исследования прочности отрезных шлифовальных кругов на бакелитовой связке, работающих со скоростью V = 100 м/с и более, авторами [358] Электростальского филиала Московского института сталей и сплавов создан специальный стенд. На стенде проведены механические испытания пяти одинаковых отрезных кругов Д 400 × 4 × 32 14А50 СТ3 Б с различными схемами их армирования (по каждой схеме отдельно) до разрушения кругов. Эти испытания позволили определить, что армирование кругов одной сеткой диаметром 390 мм и двумя боковыми сетками диаметром 200 мм обеспечивает работу кругов при рабочей скорости 100 м/с, сокращая расходы на дорогостоящий материал

Таблица 6.28

Виды брака абразивного инструмента на бакелитовой связке и его причины

Вид и особенности брака	Причины брака	Операция технологического процесса
Несоответствие заданной высоты кругов после операции горячего прессования	Преждевременный сброс давления во время прессования, пересушенные заготовки кругов	Участок формования и сушки заготовок
Трещины на торцевой поверхности круга по арматурному кольцу	Применение для изготовления арматурных колец материала, несоответствующего НТД	Участок формования
Недожог или пережог при бакелизации	Занижение или завышение температуры в бакелизаторе	Участок бакелизации
Сетка трещин на торцевой поверхности круга	Нарушение режима смешивания формовочной смеси, использование формовочной смеси с просроченным сроком годности	Участок смешивания формовочных смесей, участок формования
Неуравновешенность абразивного круга	Неравномерное распределение формовочной смеси в пресс-форме	Участок формования

(стеклоткань) на 5 %. А сравнительные испытания режущей способности отрезных кругов указанной характеристики при рабочих скоростях 80 и 100 м/с (испытания проводились на станке модели 8В241 с подачей 1000 мм/мин на прутках Ж 70 мм из стали 45) показали, что стойкость кругов при работе со скоростью 100 м/с вырастает в 1,5 раза, а производительность — на 20 % по сравнению со скоростью 80 м/с.

Виды брака абразивного инструмента на бакелитовой связке и его причины представлены в табл. 6.28.

6.7. Техника безопасности

При изготовлении абразивных инструментов на бакелитовой связке используется в значительной степени то же оборудование, что и при изготовлении инструментов на керамической связке (мешалки, прессовое оборудование, сушильные устройства и др.). Поэтому все сказанное ранее по вопросам техники безопасности должно соблюдаться и при производстве изделий на бакелитовой связке.

Специфическим моментом в производстве изделий на бакелитовой связке является токсичность применяемых компонентов при изготовлении формовочных смесей.

При работе с фенольными порошкообразными связующими (пульвербакелит, СФП-011А, СФП-012А, СФП-015А, СФП-0119А), жидким бакелитом, стеклосеткой типа СПАП и другими компонентами связки выделяются пары фенола, формальдегида, аммиака, ацетона, частицы стеклопыли и др.

Пары фенола и формальдегида вызывают хронические отравления, раздражают слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. Ацетон обладает наркотическим действием, раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательных путей, влияет на нервную систему. Аммиак при больших концентрациях вызывает отек легких, головокружение, боли в желудке, конъюнктивиты глаз. Стеклопыль раздражает дыхательные пути и незащищенные участки кожи.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) и классы опасности указанных веществ по ГОСТ 12.1.005:

ПДК фенола — 0,1 мг/м^3, класс опасности II;

ПКД формальдегида — 0,05 мг/м^3, класс опасности II;

ПДК ацетона — 200 мг/м^3, класс опасности IV;

ПДК аммиака — 20 мг/м^3, класс опасности IV;

ПДК стеклопыли — 2 мг/м^3, класс опасности III.

Используемое для пропитки сеток типа СПАП связующее на основе лака ЛХС-2 уменьшает выделение паров формальдегида в 2,5 раза, а выделение фенола отсутствует.

Работу с вышеперечисленными компонентами следует проводить в помещениях, оборудованных механической приточно-вытяжной вентиляцией и местными отсасывающими устройствами, обеспечивающими содержание вредных веществ в воздухе, не превышающее ПДК. При работе применяются спецодежда, спецобувь и индивидуальные средства защиты: очки, перчатки, респираторы согласно установленным нормам, а также противогазы ФГП-130А в случае аварийных ситуаций.

При попадании жидкого бакелита на кожу человека необходимо удалить его с помощью ватного тампона, смоченного этиловым спиртом, а затем тщательно промыть пораженное место теплой водой с мылом.

Уборка запыленных участков и оборудования должна проводиться любым не допускающим пыления способом. Влажная уборка помещения должна проводиться регулярно. Производственные помещения должны быть оснащены техническими средствами контроля окружающей среды. Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений осуществляется периодически.

Фенольное порошкообразное связующее — горючее вещество. Температура воспламенения — не менее 410 °С, температура самовоспламенения — не менее 520 °С. Нижний концентрационный предел воспламенения 46 г/м^3. Показатели пожароопасности определены по ГОСТ 12.1.044. В случае пожара связующее тушат водой, воздушно-механической пеной, инертным газом.

Бакелит жидкий марки БЖ-3А — трудногорючая жидкость, температура самовоспламенения жидкого бакелита — не менее 550 °С, средства тушения — вода, раствор сульфанола НП, пена, инертный газ, диоксид углерода, песок.

Взвешенная в воздухе пыль уротропина взрывоопасна, нижний предел взрываемости — 15,1 г/м^3, температура самовоспламенения уротропина — 683 °С.

Сетка СПАП — горючий материал, средства пожаротушения — углекислотные и порошковые огнетушители, вода распыленная, пар, песок, пена. Категория взрывоопасности и пожароопасности помещений по СНиП 2.09.02–85 — "В".

Работающие с жидким бакелитом должны проходить предварительный (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры в соответствии с приказом Минздрава № 90 от 14.03.96 г.

Выбросы в атмосферу вредных веществ при производстве и переработке смолы не должны превышать установленные в соответствии с ГОСТ 17.2302 нормы.

Твердые отходы, образующиеся при производстве абразивного инструмента с применением жидкого бакелита, должны собираться в спецтару и вывозиться на промотвал для захоронения в соответствии с действующими правилами накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов.

При применении сетки типа СПАП в воздушную среду рабочих помещений возможны выделения паров фенола, формальдегида, ацетона и стеклопыли. ПДК и классы опасности указанных веществ по ГОСТ 12.1.005:

ПДК фенола — 0,1 мг/м^3, класс опасности II;

ПДК формальдегида — 0,05 мг/м^3, класс опасности II;

ПДК ацетона — 200 мг/м^3, класс опасности IV;

ПДК стеклопыли — 2 мг/м^3, класс опасности III.

Используемое для пропитки сеток типа СПАП связующее на основе лака ЛХС-2 уменьшает выделение паров формальдегида в 2,5 раза, а выделение фенола отсутствует.

Сетка СПАП — горючий материал. Средства пожаротушения — углекислотные и порошковые огнетушители, вода распыленная, пар, песок, пена. Категория взрывоопасности и пожароопасности помещений по СНиП 2.09.02.85 — "В".

Глава 7

ПРОИЗВОДСТВО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ВУЛКАНИТОВОЙ СВЯЗКЕ

Инструмент на вулканитовой связке в отличие от инструмента на керамической и бакелитовой связках обладает повышенной стойкостью профиля и прочностью к ударным нагрузкам. Круги на вулканитовой связке широко применяются на операциях резьбошлифования, чистового и отделочного шлифования стальных деталей, а отрезные круги (толщина 0,6–6 мм) используются при резании конструкционных и жаропрочных сталей.

Выпускаемый промышленностью шлифовальный инструмент на вулканитовой связке регламентируется международным стандартом ISO 525–86 и российским ГОСТ 2424–83. По этим стандартам к кругам на вулканитовой связке общего назначения относятся типы кругов 1, 5 и 7, формы и размеры которых показаны на рис. 7.1.

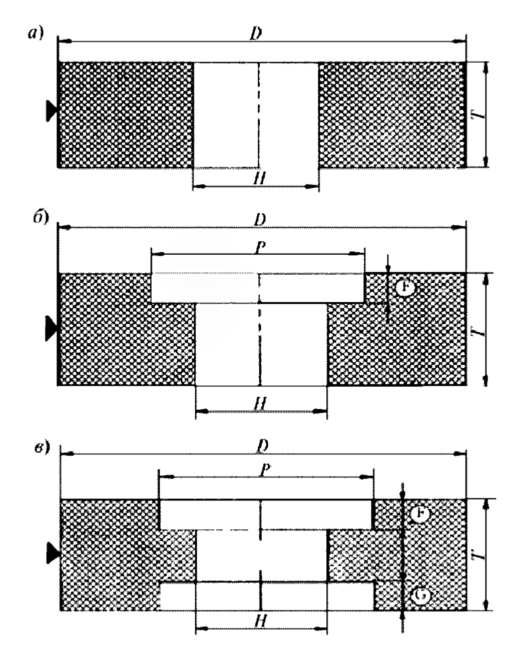


Рис. 7.1. Шлифовальные круги на вулканитовой связке по ISO 525–86 и ГОСТ 2424–83 типов 1 (*а*), 5 (*б*) и 7 (*в*): треугольники – рабочие поверхности кругов

Производители абразивного инструмента на вулканитовой связке в России руководствуются ТУ 2-036-1023–88, согласно которому к шлифовальным кругам общего назначения относятся круги типов 1, 7 и П, предназначенные главным образом для трубных заводов и предприятий подшипниковой промышленности. Размеры шлифовальных кругов этих типов приводятся в табл. 7.1–7.3, а размеры шлифовальных кругов типов 1 и П — в табл. 7.4–7.5. Выпуск кругов, предназначенных для заточки режущего инструмента типа 6, производится по ТУ 2-036-0224774-003–91, а инструмента типов 1, 3, 5, 36, 336 и 636 для механической обработки топливной аппаратуры — по ТУ 2-036-10914–87 и ТУ 3983-0221917-015–95. Формы и размеры некоторых типов этих кругов представлены на рис. 7.2.

Таблица 7.1

Размеры шлифовальных кругов типа 1 на вулканитовой связке по ТУ 2-036-1023–88

D, мм	T, мм	H, мм
250	100	127
300; 350	20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200	127
350	100; 125; 150; 200	203
400	150; 200	225
500	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200	305

Таблица 7.2

Размеры шлифовальных кругов типа 7 с диаметром отверстия 127 мм по ТУ 2-036-1023–88

D, мм	T, мм	P, мм	G, мм	F, мм
300	100	200	13	13
	125	200	25	25
	150	200	40	35
	200	200	40	50; 85
	250	200	40	50
350	125	200	15	20
	150	200	40	20
	200	200	40	50
	250	200	40	50
	275	200	65	100

Таблица 7.3

Размеры шлифовальных кругов типа П по ТУ 2-036-1023–88

D, мм	T, мм	H, мм
80	3	20
300	3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25	76; 127

Таблица 7.4

Размеры шлифовальных кругов типа 1, выпускаемые АО "Росси" согласно стандарту предприятия

D, мм	H, мм	T, мм
250	127	3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200
300	127	3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200
350	127	8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200
350	203	50; 63; 80; 100; 125; 150; 200
400	203	3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125
400	225	150; 200
500	127	10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 150; 200

Таблица 7.5

Размеры полировальных кругов типа 1 на вулканитовой связке по ТУ 2-036-1017—87

D, мм	T, мм	H, мм
80	6; 8; 10; 13; 16; 20	20
100	6; 8; 10; 13; 16; 20	20
125, 150, 200	6; 8; 10; 13; 16; 20	32
250	6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32	32
	40	76
300	10; 20; 25; 32; 40; 50	76; 127
400	32; 40; 50	127
500	40; 80	305

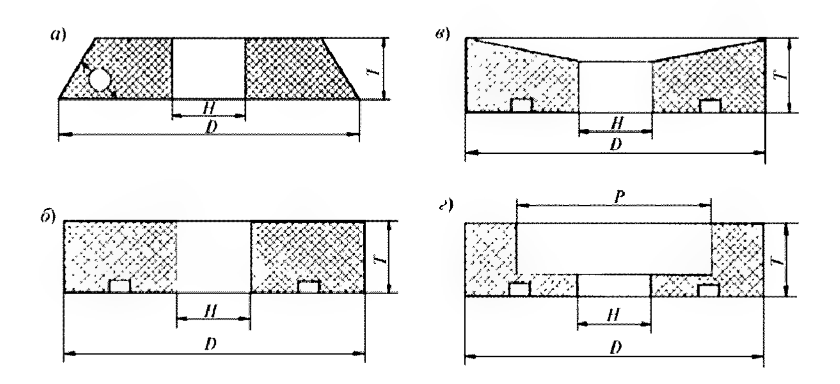


Рис. 7.2. Шлифовальные круги на вулканитовой связке, изготовляемые по ТУ 2-036-1014—87, типов 3 (*а*), 36 (*б*), 336 (*в*) и 636 (*г*)

Таблица 7.6

Размеры полировальных кругов типа П на вулканитовой связке по ТУ 2-036-1017–87

D, мм	*T*, мм	*H*, мм
250	3	127
300	6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32	127
500	25; 32; 40	305

В настоящее время номенклатура шлифовальных кругов на вулканитовой связке в России на предприятиях существенно расширена (табл. 7.6) и регламентируется стандартами предприятия [359].

Круги типов 1, 5, 7 и П выпускаются степенями твердости СМ, С, СТ и Т и могут работать при скоростях 35 и 50 м/с.

7.1. Исходные материалы для производства инструмента на вулканитовой связке

Абразивные материалы. Для производства шлифовальных, полировальных и отрезных кругов на вулканитовой связке применяют электрокорунд нормальный марок 13А и 14А, электрокорунд белый марки 25А по ГОСТ 28810–90, хромистые электрокорунды марки 95А по ТУ 2-36-0221066-007–90 и марок 94А и 93А по ТУ 2-036-849–85, карбид кремния черный марок 53С и 54С по ГОСТ 26327–84. Зерновой состав шлифовальных материалов регламентируется по ГОСТ 3647–80.

Вулканитовая связка является многокомпонентной композицией на основе твердых и жидких каучуков, включающей вулканизирующие компоненты, антистарители, мягчители, наполнители и ускорители вулканизации [360–363].

В качестве твердого каучука используется синтетический высокомолекулярный бутадиеновый каучук марок СКДСР и СКДСР-М по ТУ 38-103284–85, стабилизируемый антиоксидантом марки "Агидол-2"; каучук марок СКДСР наполнен маслом "Пластар-20К", а каучук СКДСР-СМ — "Стабилпласт-62". Твердый бутадиеновый каучук поставляется на предприятия-потребители в виде брикетов массой 30±1 кг. Кроме твердого бутадиенового каучука при изготовлении эластичного вулканитового инструмента могут быть использованы твердые натрий-бутадиеновый каучук марки СКБ-50 или нитрильный марки СКМ-26М.

В качестве жидкого каучука используется синтетический низкомолекулярный бутадиеновый карбоксилсодержащий каучук марки СКД-1А по ТУ 38-103352–83, представляющий собой вязкую массу от светло-желтого до темно-коричневого цвета или марки СКН-18-1А по ТУ 38-10316–76. Часто предприятия в качестве каучуковой основы используют смесь двух видов каучуков — жесткого СКДСР и СКД1А в соотношении их масс 17 : 3.

Главными требованиями к каучуковой основе является ее высокая пластичность и способность вулканизироваться. Высокая пластичность обеспечивает возможность перемешивания составляющих смеси в резиносмесителе, приготовле-

ния вулканитовой массы операциями валкового смешивания и формования из абразивной массы полуфабрикатов для последующего получения абразивных кругов. Способность вулканизироваться в присутствии серы дает возможность каучуковой основе получить заданные прочностные свойства абразивных кругов.

Для процесса вулканизации каучука применяется сера марки 9995 (ГОСТ 127–76). Количество серы в связке для шлифовальных кругов различной твердости вводится от 10 до 26 %, в отрезных кругах — от 21 до 24 %, в полировальных кругах твердостей ГМ, ГС и ГТ — от 2 до 7 %.

Механические свойства изделий после вулканизации зависят от количества введенной в каучук серы. При 2–4 % введенной серы каучук превращается в резину, при 20–60 % введенной серы — в эбонит. При этом сопротивление разрыву возрастает в 2–200 раз, удлинение падает в 2–500 раз, повышаются твердость и теплостойкость резины или эбонита.

В настоящее время получены специальные марки синтетических каучуков, способных при нагреве полимеризоваться без добавления вулканизирующих составляющих.

Для оптимизации процесса вулканизации в связку, содержащую смесь каучуков и вулканизирующую составляющую, добавляют *ускорители вулканизации*, которые не только сокращают время вулканизации, снижают ее температуру, но и улучшают качество абразивного инструмента. В качестве ускорителей чаще всего применяют каптакс по ГОСТ 739–74 ($C_7H_5NS_2$-2-меркаптобензотиазол), тиурам по ГОСТ 740–46 ($C_6H_{12}N_2S_4$-тетраметилтиурамдисульфит), альтакс, другие вещества, а также их смеси.

Авторы [364], используя термогравиметрический анализ твердых каучуков, исследовали микроструктуру твердого натрий-бутадиенового каучука и влияние его микроструктуры на физико-механические свойства инструмента.

Термогравиметрический анализ проводился на дериватографе Q-1500 при следующих параметрах съемки: чувствительность весов — 100-, ТГ-250, ДТА-100, $V_н$ — 2,5 град/мин. Для сравнения тепловых эффектов массы навесок выбирались постоянными.

Физико-механические свойства определяли на образцах шлифовального инструмента, изготовленных по одной рецептуре, твердостью СМ, с различными партиями твердого каучука.

На рис. 7.3 представлены термограммы твердого натрий-бутадиенового каучука СКБ-50р различных поставок. Выделение летучих в образцах 1–3 носит линейный характер, при незначительном экзоэффекте термоструктурирования или его отсутствии в образце *2* наблюдается эффект термоструктурирования в интервале температур 150–215 °С. Эффект сопровождается увеличением массы, фиксирующей процессы, протекающие с участием кислорода воздуха и свидетельствующие о термоокислительном характере структурирования в каучуке.

Судя по значению экзоэффекта (рис. 7.4), обеспечивается максимальная скорость прохождения реакции вулканизации. Свидетельством участия в реакции вулканизации активных олигомеров является связывание летучих в процессе термообработки абразивных смесей. Как следует из табл. 7.7, образцы 2 и 3 выделяют разное количество летучих при термообработке в исходном состоянии, в то время как в составе массы выделения летучих одинаковы в обоих образцах.

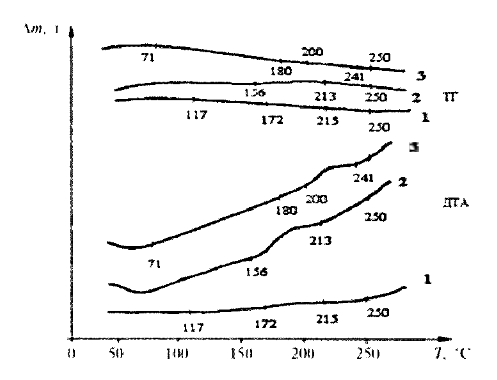


Рис. 7.3. Типичные дериватограммы твердого каучука СКБ-50р различных поставок:
1 — поставка 2003 г.; *2*, *3* — поставки 2004 г.

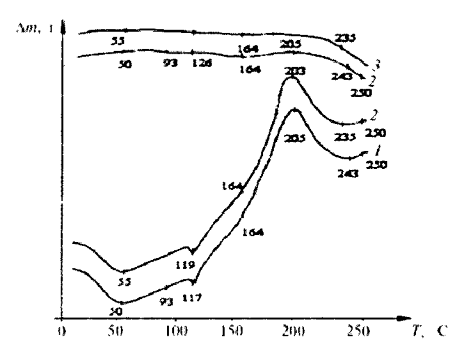


Рис. 7.4. Дериватограммы абразивных смесей, отличающихся партиями твердого каучука СКБ-50р:
1 – поставка 2003 г.; *2*, *3* – поставка 2004 г

Таблица 7.7

Результаты термогравиметрического анализа твердого каучука СКБ-50р

Номер образца	$T_{нач}$	$T_{кон}$	Δm	Экзоэффект (+ обозначает прибыль массы, – — потери массы)					$\Sigma\Delta m$
				$T_{нач}$	$T_{кон}$	Δm	$T_{кон}$	Δm	
1	117	172	–0,09	172	195	–0,05	215	–0,04	–0,24
	215	290	–0,06						
	213	250	–0,12						
	241	250	–0,04						
2	–	–	–	156	190	±0,05	213	0	–0,05
3	71	200	0,42–	200	225	0	241	–0,10	–0,56

Таблица 7.8

Физико-механические свойства образцов инструмента

Номер образца	Разрывная скорость, м/с	Твердость, ед. ТКВ	Водопоглащение, %	Пористость, %	Амплитуда экзоэффекта, мм
1	98	347	2,4	6,4	–
2	65	346	6,1	15,5	60
3	113	257	1,1	3,1	64

В табл. 7.8 представлены результаты испытаний образцов абразивного инструмента на физико-механические свойства, показывающие, что инструмент, изготовленный с использованием каучука с высоким содержанием летучих, имеет высокие прочностные характеристики и более плотную пространственную структуру (низкие показатели водопоглощения и пористости), т. е. выделяющиеся в процессе вулканизации низкомолекулярные составляющие твердого каучука участвуют в образовании пространственной полимерной сетки при вулканизации и не препятствуют формированию высоких прочностных характеристик инструмента.

Вулканитовая связка, предназначенная для изготовления шлифовальных кругов твердостями СМ, С, СТ и Т, содержит от 50 до 70 % каучуковой основы. Причем чем меньше твердость кругов, тем выше содержание каучуковой основы в вулканитовой связке. Ее содержание зависит также от рабочей скорости кругов. Повышение рабочей скорости требует увеличения массы каучуковой основы. Вулканитовая связка, предназначенная для изготовления отрезных кругов, содержит от 45 до 53 % каучуковой основы. Вулканитовая связка гибких полировальных кругов имеет в своем составе более 60 % каучука.

Используемые в абразивном производстве жесткие и низкомолекулярные каучуки достаточно легко окисляются на воздухе, теряя свойство пластичности. Это явление, называемое старением, меняет физико-механические свойства связки и абразивной смеси. Для снижения скорости окисления в каучуки и их смеси добавляют антистарители, например альдоль-α-нафтиламин, фенил-β-нафтиламин и другие вещества. Отдельные заводы в качестве антистарителя применяют смесь микрокристаллических углеводородов с минеральным маслом, получаемую при депарафинизации рафинатов западносибирской нефти (марки ОМСК-1, ТУ 38-101348–78). Марку ОМСК-1 ТУ 38-101348–78. Вулканитовые связки содержат от 5 до 15 % антистарителя от массы каучуковой основы. Наибольшее количество антистарителя содержат шлифовальные круги твердостью С и СМ.

Мягчители вводятся в вулканитовую связку для улучшения ее пластичности, необходимой в процессе ее смешивания, формования листовых полуфабрикатов и листов из абразивных смесей, полученных прокаткой, а также в процессе вырубки из листов кольцевых заготовок. К мягчителям относят следующие материалы: идитол, рубракс, дибутилфталат, а также жирные кислоты, продукты перегонки нефти, растительные масла и др. Физико-механические свойства и марки идитола регламентируются ГОСТ 18594–80, по которому выпускаются следующие марки: СФ-010, СФ-010М, СФ-011, СФ-012 и др.

Наполнители вводятся в целях повышения прочностных и эксплуатационных свойств инструмента. Установлено, что введение 10–20 % наполнителя от общей массы каучуков повышает прочность инструмента в 10–15 раз. Чаще всего в качестве наполнителя используют оксид цинка (белила цинковые по ГОСТ 202–84), оксид магния (магнезию жженую по ГОСТ 844–79), криолит (ГОСТ 10561–80) и др. Авторы [365] применили новый наполнитель — пигмент красный (оксид железа Fe_2O_3). В табл. 7.9 в качестве примера представлен состав вулканитовых связок в зависимости от твердости и рабочей скорости кругов [366].

Формирование структуры и свойств инструмента на вулканитовой связке относится к твердофазным процессам, контролируемым на поверхности раздела фаз. Механизм и кинетика зависят от значения доступной межфазной поверхности, условий транспорта реагентов в реакционно-активную зону, от наличия поверхностно-активных центров, химического и термического активирования каучука к пространственному структурированию [367].

Известно, что полнота прохождения реакции вулканизации при наличии ускорителей (тиурама, каптакса) связана с образованием промежуточных поверхностно-активных комплексов, вовлекающих в процесс построения пространственной структуры твердый каучук и серу. Ступени активирования реакции вулканизации связаны с пятью критическими точками — полиморфного превращения, плавления, полимеризации серы, плавления и распада ускорителей. Все точки находятся в одном температурном интервале (100–160 °С). Изменение структуры полимера осуществляется под влиянием серы, ускорителей, кислорода воздуха; происходят изомерные превращения, распад

Таблица 7.9

Состав вулканитовых связок (пример) в зависимости от твердости и рабочей скорости кругов *

Компонент связки	Содержание компонентов связки, кг, в зависимости от твердости (рабочая скорость, м/с)									
	ГМ (18)	ГС (18)	ГГ (18)	Т4 (60)	Т6 (60)	СМ (35)	С (35)	СТ1 (35)	Т (35)	СТ1 (50)
Каучук марки СКБ-50	20	20	20	17	17	26	26	26	26	26
Каучук марки СКД-1А	3,5	3,5	3,5	3	3	4	4	4	4	4
Антистаритель марки ОМСК-1	1,2	–	–	–	–	3	2	1	1	1,5
Сера	1,2	1,8	2,9	10	10	6,75	7,8	9	9	9
Смесь ускорителей	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Белила цинковые	1,2	–	–	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0
Криолит	–	–	–	10	8	5	5	4	8	6
Магнезия жженая	9,6	9,6	9,6	–	–	2,25	2,25	3	1	–
Пигмент красный железноокисный	–	–	–	4	–	–	–	–	–	–
Идитол	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3
Итого	37,2	35,4	36,5	41,4	43,4	49,1	49,15	49,1	51,1	48,8

* На одну загрузку резиносмесителя.

и структурирование полимера с образованием активных центров. Авторы [367] предполагают, что использование твердого каучука с широким молекулярно-массовым распределением (с наличием низкотемпературных летучих олигомеров) обеспечивает "транспорт" в реакционную зону активных олигомеров в интервале критических температур, создает дополнительные условия для формирования пространственной структуры вулканизаторов и, как следствие, высоких физико-механических свойств. "Транспорт" активных олигомеров обеспечивается в результате отделения от основной цепи низкотемпературных летучих и, следовательно, образования дополнительных активных центров для пространственного структурирования твердого каучука.

7.2. Основы технологии и оборудование для изготовления вулканитовой связки и абразивной смеси

7.2.1. Подготовка сырьевых материалов

В настоящее время на абразивных предприятиях России технология приготовления вулканитовой смеси для производства шлифовальных, полировальных и отрезных кругов общего и специального назначения предусматривает следующие основные технологические операции (рис. 7.5) [368]:

приемка и контроль химических и физических свойств исходных материалов вулканитовой связки и шлифовальных материалов;

хранение и транспортировка компонентов связки и шлифовальных материалов;

подготовка исходных материалов (измельчение, рассев, разрезка блоков и дозирование) вулканитовой связки к перемешиванию в резиносмесителе;

подготовка шлифовальных материалов к приготовлению вулканитовой массы;

приготовление связки на валковом оборудовании;

приготовление вулканитовой массы (смеси) на валковом оборудовании.

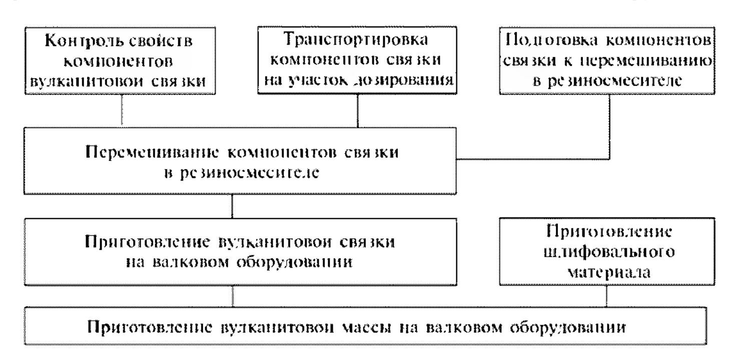


Рис. 7.5. Технологическая схема приготовления вулканитовой абразивной смеси

Все исходные материалы для вулканитовой связки и шлифовальные материалы при поступлении на предприятия абразивной промышленности подвергаются приемке и контролю. Контролируются прежде всего химические и физические свойства материалов, а также упаковка и маркировка.

Каучук твердый марки СКД СР проверяется на потерю массы при сушке и на содержание золы в соответствии с ТУ 38-103284—85.

Каучук жидкий марки СКД-1А проверяется на соответствие внешнего вида и вязкости требованиям ТУ 38-103252—83.

Антистаритель марки ОМСК-1 проверяется на соответствии температуры его плавления требованиям ТУ 38-101348—78. Ускорители вулканизации тиурам Д и каптакс проверяются на содержание золы, влаги и на соответствие требованиям ГОСТ 74—76 и ГОСТ 739—74 степеней измельчения.

Сера техническая проверяется на соответствие золы и кислотности требованиям ГОСТ 127—76.

Белила цинковые проверяют на содержание металлического цинка и на потерю массы при прокаливании по ГОСТ 202—84.

Криолит в результате проверки по внешнему виду и массовой доле влаги должен соответствовать требованиям ГОСТ 10561—80.

Магнезия жженая по насыпной плотности, по потерям массы при прокаливании и по остатку просева на сите должна соответствовать требованиям ГОСТ 844—79.

Мягчитель (смола фенолформальдегидная) по внешнему виду должен соответствовать ГОСТ 18694—80.

Шлифовальные материалы должны по содержанию магнитного материала, насыпной плотности и зерновому составу соответствовать установленным стандартам и техническим условиям.

На складе приемки твердый каучук и антистаритель хранятся в блоках, жидкий каучук — в металлических бочках, порошкообразные компоненты связки (сера, тиурам Д, каптакс, белила цинковые, криолит, магнезия жженая и смола) — в мешках. Шлифовальные материалы хранятся в кюбелях.

Как правило, с участка приемки и хранения суточный запас исходных материалов для приготовления связки в резиносмесителе транспортируется на участок дозирования с помощью автопогрузчика и грузового лифта, а кюбели со шлифовальными материалами — с помощью автопогрузчика и мостового крана на участок приготовления вулканитовой массы.

На участке дозирования сыпучие исходные материалы пересыпают в специальные секции деревянных ларей.

К подготовке исходных материалов вулканитовой связки, как следует из НТД предприятий абразивной промышленности России, можно отнести:

измельчение фенолоформальдегидной смолы;

рассев криолита;

приготовление смеси ускорителей вулканизации;

разрезку блоков каучука и антистарителя;

дозирование компонентов связки.

Измельчение фенолформальдегидной смолы выполняется в шаровой мельнице в течение 3±0,5 ч. После измельчения смолу необходимо просеять через сито, параметры которого устанавливаются техническими условиями ГОСТ 4661—73, и хранить в герметически закрытой емкости.

Рассев криолита выполняется на вибросите, а просеянный порошок хранится в специальной емкости.

Смесь ускорителей вулканизации тиурама Д и каптакса для шлифовальных кругов в соотношении 1 : 3 по массе получают после взвешивания компонентов на весах по ТУ 25-061292–75 в смесительном барабане в течение 40±3 мин. Перемешанная смесь должна храниться в металлических емкостях.

Разрезка блоков каучука выполняется на пневматическом прессе. От переднего конца блока отрезается его третья часть, а затем отрезаются куски массой не более 15 кг.

Разрезка блоков антистарителя также выполняется на пневматическом прессе, но от переднего конца блока вначале отрезается десятая часть, а затем оставшийся блок делится на части.

Перед приготовлением полуфабриката связки в резиносмесителе дозируют каучук, антистаритель и порошкообразные компоненты. Дозирование выполняется путем взвешивания заданной массы каждого компонента связки на весах по ГОСТ 23676–79.

Перед дозированием бочку жидкого каучука подогревают с помощью пара до температуры 25–50 °С. Контроль температуры выполняют с помощью термометра типа Б (ГОСТ 28498–90). Подогретый каучук сливают в специальную емкость массой 3 кг.

Перемешивание компонентов связки после дозирования выполняется в резиносмесителе. До начала перемешивания выполняется загрузка резиносмесителя в следующей последовательности:

куски жесткого каучука общей массой не более 15 кг;

порошкообразные компоненты;

навеска антистарителя;

подогретый жидкий каучук.

Время смешивания компонентов связки в резиносмесителе составляет 5 мин, температура связки после смешивания не должна превышать 60 °С.

Полуфабрикат связки из резиносмесителя выгружается на транспортер и подается на валки.

7.2.2. Оборудование для подготовки и перемешивания компонентов связки

К основному оборудованию при подготовке исходных материалов и их перемешивании для получения полуфабриката вулканитовой связки относятся:

мельницы для измельчения порошковых исходных материалов;

смесители для перемешивания порошковых компонентов вулканитовой связки;

сепараторы для просеивания порошковых компонентов вулканитовой связки;

устройство для резки блоков каучука и антистарителя;

резиносмесители для перемешивания каучуковой основы с компонентами вулканитовой связки.

На предприятиях абразивной промышленности для измельчения идитола и смешивания порошкообразных компонентов вулканитовой связки используют нестандартные малогабаритные барабанные мельницы. Параметры мельниц типов ШМ-460/400 и ШМ-870/770 указаны в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Техническая характеристика барабанных мельниц конструкции АО "Росси"

Технические параметры	Тип, модель	
	ШМ-460/400	ШМ-870/770
Диаметр барабана, мм	460	870
Длина барабана, мм	400	770
Число оборотов барабана, об/мин	44	45
Емкость барабана, л	66	450
Количество шаров, шт.	30	230
Диаметр шаров, мм	40–60	40–60
Мощность двигателя, кВт	5,6	4,5

Для смешивания твердых порошкообразных компонентов с жидким чаще всего используют червячно-лопастные смесители. Двухлопастной (двухвалковый) смеситель, показанный на рис. 7.6, состоит из камеры *1* с крышкой *2*, двух лопастей *7*, шнека *6*, привода лопастей *3*, привода шнека *4* и станины смесителя *5*. Смесители емкостью до 10 л загружаются и выгружаются опрокидыванием вручную, а смесители емкостью 25 л и более имеют механизированную загрузку и выгрузку.

В абразивной промышленности при производстве полировальных кругов на вулканитовой связке лопастные смесители используются для смешивания шлифовального материала с жидким бакелитом. Для снижения вязкости бакелита смесители снабжают нагревательными устройствами, которые подогревают смешиваемые компоненты.

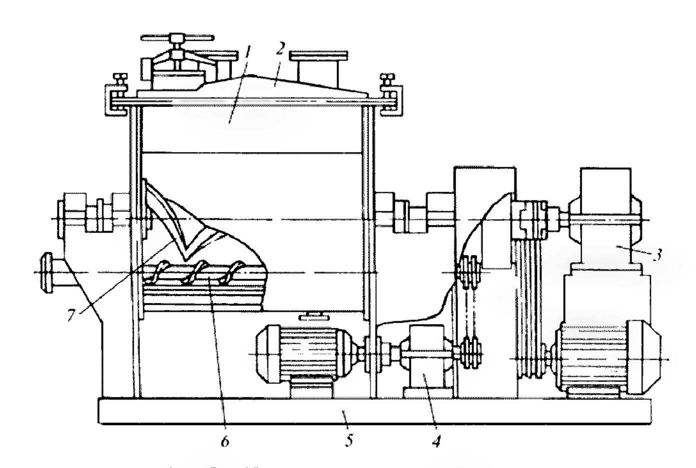


Рис. 7.6. Червячно-лопастной смеситель:
1 – камера; *2* – крышка; *3* – привод лопастей, *4* – привод шнека; *5* — станина; *6* – шнек; *7* — лопасти

Повышение температуры смеси до 80 °С обеспечивает надежное и равномерное покрытие абразивных зерен жидким бакелитом. Покрытые бакелитом абразивные зерна имеют повышенную адгезию к вулканитовой связке.

Для просеивания порошковых материалов используются преимущественно вибрационные сита, рабочим органом которых являются ситовые полотна преимущественно в виде тканой проволочной сетки с квадратными ячейками, параметры которых регламентируются ГОСТ 4601–73.

В резиновой промышленности для резки блоков и рулонов каучука применяют ножевые устройства с пневматическим, гидравлическим и электрическим приводами. В абразивной промышленности для резки блоков каучука и антистарителя чаще всего применяются устройства вертикального исполнения с однолезвийным ножом и пневматическим приводом. Устройства с пневматическим приводом компактны по конструкции и безопасны в обслуживании. Нож устройства имеет лезвие в форме клина с углом заострения от 25 до 30°.

Для смешивания каучуковой основы с другими компонентами вулканитовой связки чаще всего используются роторные резиносмесители периодического действия. Схема такого резиносмесителя с овальными роторами показана на рис. 7.7, а технологические параметры регламентируются ГОСТ 11996–79.

Резиносмесители имеют разные объемы смесительной камеры, разные скорости вращения роторов, но коэффициенты загрузки смесительной камеры меняются в одном диапазоне (0,47–0,85). Принцип работы всех роторных резиносмесителей одинаков. Схема взаимодействия органов резиносмесителя с перемешиваемыми компонентами в замкнутой камере резиносмесителя показана на рис. 7.8.

При работе резиносмесителя роторы вращаются навстречу друг другу с разными окружными скоростями. В процессе перемешивания связка *3* взаимодействует с верхним затвором *1*, роторами *2*, внутренней поверхностью камеры *4* и нижним затвором *5*. По интенсивности сдвиговых деформаций рабочую камеру резиносмесителя делят на зоны *I*, *II* и *III*. Наибольшие сдвиговые деформации имеют место в зонах *I* (серповидные области, ограниченные поверхностями *СМГПД* и *ВЕА*). В зонах *II*, ограниченных поверхностями *СИ* и *ИВ*, перемешиваемая смесь взаимодействует с верхним затвором. В зоне *III*, расположенной между поверхностями роторов верхнего и нижнего затворов, два потока смеси сталкиваются и перемешиваются. Затем смесь захватывается гребнями роторов и увлекается в серповидные области.

В резиносмесителе невозможно получить вулканитовую связку с однородным распределением компонентов, поскольку процесс перемешивания компонентов связки в конструкциях резиносмесителей с замкнутым корпусом сопровождается интенсивным тепловыделением, а повышение времени перемешивания вызывает увеличение температуры связки, что, в свою очередь, ведет к началу процесса вулканизации. Поэтому процесс приготовления вулканитовой связки завершается перемешиванием на валковых машинах (смесительных вальцах), позволяющих путем сдвиговой прокатки полуфабриката связки с рассогласованием скоростей вращения валков получить равномерное распределение порошковых компонентов в каучуковой

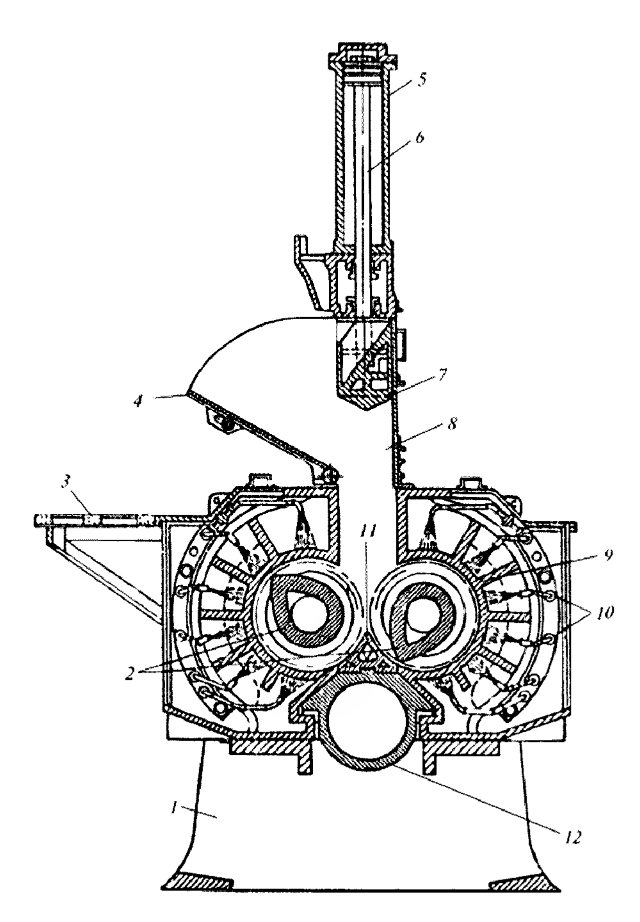


Рис. 7.7. Схема резиносмесителя с овальными роторами:

1 – фундаментная плита; *2* – роторы; *3* – площадка для обслуживания; *4* – откидная крышка воронки; *5* – поршень; *6* – шток затвора; *7* – верхний затвор; *8* – загрузочная воронка; *9* – корпус смесительной камеры; *10* – трубки для подачи воды; *11* – гребень нижнего затвора; *12* – нижний затвор

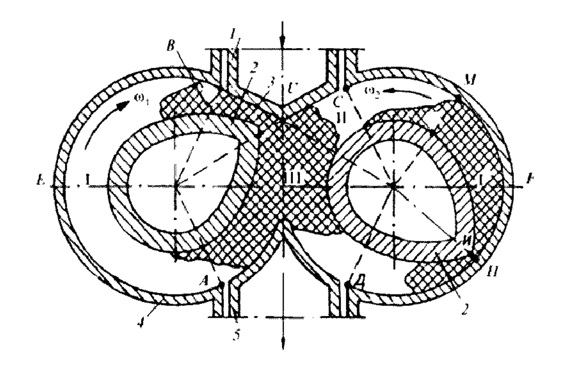


Рис. 7.8. Схема резиносмесителя:
1 — верхний затвор; 2 — роторы; 3 — связка;
4 — камера; 5 — нижний затвор

основе. Скорость одного из валков превышает скорость другого валка при смешивании связки, как правило, в 1,08−1,2 раза. Значение рассогласования скоростей валков в виде отношения числа оборотов называют фрикцией [369].

7.2.3. Приготовление абразивной формовочной смеси

Схема процесса приготовления вулканитовой формовочной смеси на вальцовом смесителе с передающим барабаном показана на рис. 7.9. Смеситель имеет корпус, состоящий из двух литых стоек коробчатой формы, соединенных между собой стяжками и установленных на единое основание. На стойках закреплены опоры, несущие два валка. Подшипники одного валка закреплены стационарно, подшипники второго валка при помощи винтовых передач могут перемещаться в горизонтальной плоскости, благодаря чему регулируется зазор между валками. Каждый из валков снабжен самостоятельным приводом. Валки вращаются навстречу друг другу и являются смесительными органами машины. В целях продления срока службы они снабжены рубашками, изготовленными из отбеленного чугуна либо легированной стали. Смеситель оборудован специальным кольцевым подъемником, имеющим внутренние лопасти и предназначенными для непрерывного подъема смешиваемых компонентов из воронки *7* в воронку *4*.

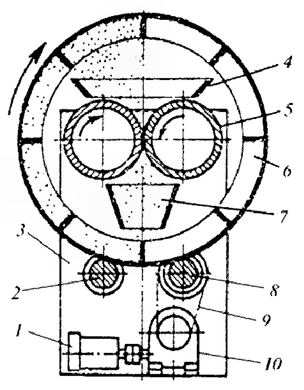


Рис. 7.9. Вальцовый смеситель:
1 — электродвигатель; 2 — ролик; 3 — станина; 4 — приемная воронка; 5 — вальцы; 6 — кольцевой подъемник; 7 — воронка; 8 — ролик; 9 — цепная передача; 10 — редуктор

Работа смесителя осуществляется следующим образом. Компоненты смеси загружаются в воронку *4*. Проходя через вальцы *5*, они по-

падают в воронку 7 и далее захватываются полками кольцевого подъемника 6, поднимаются в верхнее положение и разгружаются в воронку 4. Этот процесс повторяется многократно. Время смешивания определяется технологическим процессом и зависит от состава смешиваемых компонентов. Сначала "распускается" каучук, проходя через нагретые вальцы, затем постепенно и последовательно по рецепту вводятся взвешенные компоненты. Готовая однородная связка срезается с вальцов и направляется для приготовления массы. Зерно и готовая связка смешиваются на таких же вальцах, на которых приготавливают связку. Характеристика смесительных вальцов приведена в табл. 7.11.

Валки для смешивания вулканитовой смеси, как правило, имеют диаметр 650 мм и длину бочек 1500 мм. Валок с меньшей скоростью совершает около 12 об/мин. Значение фрикций при прокатке равно 1,2.

Процесс приготовления вулканитовой смеси включает следующие основные операции: установление минимального (около 1 мм) зазора между валками загрузки связки на валки еще не работающих вальцов; загрузка шлифовальным материалом до необходимого технологического уровня; прокат связки с охватом ею переднего валка, вращающегося с меньшей скоростью; подача в шнек дозатора, а затем в зазор между валками первой порции шлифовального материала массой 30±0,1 кг; перемешивание шлифовального материала со связкой, охватывающей передний валок вальцов с помощью передвижного ножа, и подрезка проката.

Указанные операции повторно выполняются за пять этапов. После первого этапа зазор между валками увеличивается примерно в два раза, подрезанная, предварительно перемешанная смесь подается в валки и прокатывается в них с охватом переднего валка, шнек дозатора вновь заполняется шлифовальным материалом массой 30±0,1 кг, вторая порция материала подается в валки и перемешивается с полуфабрикатом смеси. Зазор между валками в каждом последующем этапе увеличивается примерно в два раза и достигает в последнем этапе максимального значения, равного примерно 15 мм.

Таблица 7.11

Характеристика смесительных вальцов

Техническая характеристика	Тип			
	1	2	3	4
Размеры вальцов, мм Диаметр Длина	 510–550 800	 520–550 1530	 300–345 1040	 350 × 400 1060
Частота вращения вальцов, об/мин: ведущего ведомого	 11 8	 11 9	 18 11	 8 6
Фрикция (соотношение скоростей)	1 : 1,35	1 : 1,9; 1 : 1,28	1 : 1,4; 1 : 1,65	1 : 1,4; 1 : 1,65
Мощность электродвигателя, кВт	75	75	20	20
Габаритные размеры, мм (длина × × ширина × высота)	3715 × 2893 × × 1880	5510 × 2850 × × 2045	5150 × 2380 × × 1600	4980 × 2550 × × 1850
Масса, кг	16096	19015	≈ 10000	≈ 11000

Температура готовой смеси при прокатке на охлаждаемых валках не должна превышать 60 °С. Общая продолжительность процесса приготовления вулканитовой смеси не должна превышать 24 мин. Готовая смесь перед дальнейшим использованием для формования прокаткой листовых заготовок может храниться не более трех суток.

Смесь, приготовленная на смесительных вальцах, направляется на прокатку, после которой она превращается в пластины необходимой толщины и плотности. Прокатка смеси ведется на прокатных вальцах, оси которых расположены в горизонтальной плоскости, или на каландрах с осями, расположенными в вертикальной плоскости.

7.2.4. Формование абразивных кругов на вулканитовой связке

Формование кругов возможно двумя способами:

1) прокатка (листование) массы на вальцах и штамповка (при изготовлении крупногабаритных кругов с последующим дублированием подпрессовкой). Этим способом формуются круги из масс, изготовленных на вальцах;

2) прессование кругов в пресс-формах из сыпучей крошкообразной массы в смесительных машинах и разрыхленной в специальных рыхлителях типа дезинтегратора. Этот способ формования позволяет изготавливать круги заданной пористости.

Авторы [370] разработали принципиально новую технологическую схему формования кругов (рис. 7.10). Сущность ее состоит в том, что формовочная смесь предварительно измельчается, из нее на валковой машине прокатывается непрерывная лента, разрезается на листы определенных размеров и из каждого листа (после прокатки до заданной толщины) вырубается одна или несколько заготовок кругов. Измельчение производится в роторной дробилке, из которой формовочная смесь с помощью пневмотранспорта для ленточного конвейера непрерывно подается в питатель трехвалкового ленточно-брикетного агрегата. Толщина прокатываемой на нем ленты 7–15 мм, ширина 330 мм, скорость прокатывания ленты 3,5–4,0 м/мин.

Ленточно-брикетный агрегат оборудован роторным ножом, разрезающим ленту на листы определенных размеров. С помощью ленточного или роликового конвейера листы подаются в зазор валков калибровочных вальцов и прокатываются до заданной толщины.

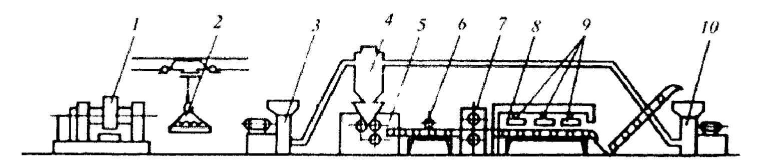


Рис. 7.10. Принципиальная схема нового технологического процесса непрерывного формования шлифовальных кругов на вулканитовой связке:
1 – смесительные вальцы; *2* – поддон с формовочной смесью; *3* – дробилка; *4* – бункер-питатель; *5* – ленточно-брикетный агрегат; *6* – роторный нож; *7* – калибровочные вальцы; *8* – конвейер; *9* – вырубной агрегат; *10* – дробилка

При формовании кругов, имеющих небольшую высоту, например отрезных, может быть применено двух- или трехкратное прокатывание, позволяющее значительно снизить возникающие между валками распорные усилия и повысить равномерность листа по толщине, что уменьшает износ валков и улучшает качество кругов.

Прокатанные до заданной толщины листы ленточным конвейером подаются на пресс, оборудованный в зависимости от размеров круга одним или несколькими вырубными штампами. Облой, образующийся при вырубке кругов, подается в дробилку и в измельченном виде возвращается пневмотранспортом или конвейером в питатель ленточно-брикетного агрегата.

Эту линию целесообразно использовать при изготовлении отрезных кругов.

Авторы [366, 371] предлагают поточно-механизированные линии (ПМЛ) для прокатки вулканитовых листов на одно-, двух-, трехклетевых станах.

7.2.5. Поточно-механизированные линии для прокатки вулканитовых листов

Приготовленная на валковом смесительном оборудовании абразивная вулканитовая смесь загружается на передающие тележки и подается на загрузочные устройства ПМЛ для прокатки полос в виде листовых полуфабрикатов, а затем и листов. В качестве валкового оборудования для прокатки полос на современных поточно-механизированных линиях используются: одноклетевые станы дуо (вальцы), в которых оси валков расположены в одной горизонтальной плоскости, двухклетевой стан типа тандема с чер-

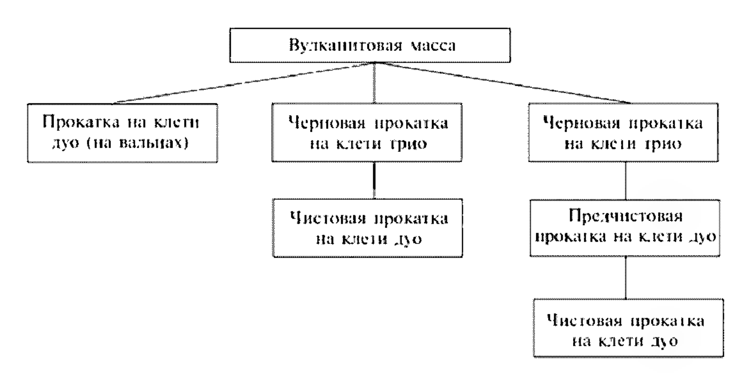


Рис. 7.11. Технологические схемы прокатки листов из вулканитовой смеси

новой клетью трио специальной конструкции и чистовой клетью дуо и трехклетевые станы типа тандема с черновой клетью трио, предчистовой и чистовой клетями дуо. Технологические схемы прокатки листов высотой от 0,6 до 53 мм на трех поточно-механизированных линиях разных типов приведены на рис. 7.11.

Технология прокатки листовых полуфабрикатов и листов на ПМЛ с одноклетевым станом

Вулканитовые листы, полученные на ПМЛ с одноклетевыми станами дуо, оси рабочих валков которых расположены в одной горизонтальной плоскости, используются для вырубки кольцевых полуфабрикатов. Эти кольцевые полуфабрикаты собирают в пакеты, а из них прессованием в закрытых пресс-формах на гидравлических прессах получают заготовки высоких (до 275 мм) шлифовальных и полировальных кругов преимущественно типов 1, 5, 7 и 36 (см. рис. 7.1 и 7.2).

Схема, указывающая последовательность выполнения технологических операций и порядок расположения основного оборудования ПМЛ, приведена на рис. 7.12. На ПМЛ с ковшовой подачей абразивной кусковой массы получают шлифовальные круги типа 1 диаметрами от 250 до 500 мм и высотой от 50 до 200 мм, полировальные круги типа 1 диаметром 500 мм и высотой 80 мм, шлифовальные круги типа 5 диаметром 350 и 400 мм и высотой от 50 до 120 мм, шлифовальные круги типа 7 диаметром 300 и 350 мм и высотой от 100 до 275 мм и шлифовальные круги типа 36 диаметром 350 и 400 мм и высотой от 50 до 120 мм.

К технологическим операциям прокатки на стане дуо ПМЛ с ковшовой подачей абразивной смеси относятся:

установка заданного створа валков, преимущественно размером от 9 до 13 мм;

достижение с помощью систем охлаждения и нагрева заданного температурного поля валков, при котором прокат должен иметь во время прокатки температуру от 30 до 60 °С;

загрузка вулканитовой смеси в ковш подачи;

подача с помощью ковша вулканитовой смеси в загрузочный бункер прокатного стана;

прокатка листовых полуфабрикатов высотой преимущественно 10—13 мм;

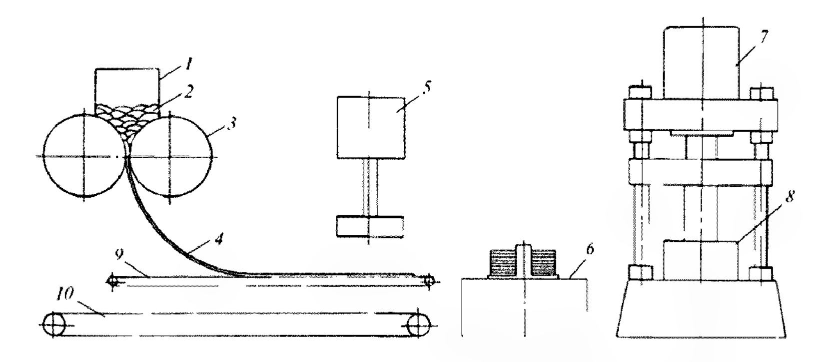


Рис. 7.12. Поточно-механизированная линия с одноклетевым станом дуо:
1 — загрузочный бункер; *2* — кусковая абразивная масса; *3* — клеть дуо; *4* — полуфабрикат листа; *5* — вырубной пресс; *6* — участок сборки пакетов; *7* — гидравлический пресс; *8* — пресс-форма; *9* — приемный транспортер; *10* — транспортер возврата облоя

сборка из листового полуфабриката пакета укладкой его по длине в несколько слоев;

прокатка пакета в листовой полуфабрикат (пакетная прокатка выполняется последовательно не менее чем за три прохода), а затем в лист высотой преимущественно 10±0,5 мм;

подача вулканитового готового листа на стол вырубного пресса.

Значение рабочего зазора между валками стана определяется в основном заданным размером высоты круга и режимом обжатий пакета кольцевых полуфабрикатов при прессовании в закрытой пресс-форме. Высоту пакета можно регулировать также количеством кольцевых полуфабрикатов.

От температуры рабочих валков зависят сопротивление деформации и пластические свойства проката, адгезия проката к поверхностям валков и условия трения на поверхностях контакта, а также значение эластического восстановления высоты проката после выхода из валков.

Увеличение температуры валков снижает сопротивление деформации, повышает пластические свойства проката, что ведет к снижению значения эластического восстановления высоты проката и повышению его качества (исключаются непроформованные участки, увеличивается однородность структуры). Кроме того, снижается расход энергии на процесс прокатки. Но при этом увеличивается адгезия проката к поверхностям валков и меняются условия трения. Поэтому температурные условия прокатки должны назначаться с учетом состава вулканитовой массы и связки, а также зернистости шлифовального материала. Температура валков и проката не должна превышать 60 °С, поскольку при такой температуре начинается процесс вулканизации. Из пакета кольцевых полуфабрикатов с подвулканизированными поверхностями невозможно прессованием получить высокую заготовку абразивного круга.

Следует иметь в виду, что загружаемая в ковш вулканитовая масса должна иметь температуру не ниже 30 °С. Если вулканитовая масса имеет более низкую температуру, ее для разогрева следует повторно подвергать прокатке на смесительном валковой оборудовании.

Технология прокатки полуфабрикатов и листов на ПМЛ с двухклетевым станом

Листовой прокат, полученный на ПМЛ с двухклетевым станом типа тандема, схема которой показана на рис. 7.13, используется в основном для вырубки кольцевых заготовок, шлифовальных и полировальных кругов диаметром 250, 300, 350, 400 и 500 мм и высотой от 3 мм и менее.

К основным технологическим операциям прокатки на двухклетевом стане относятся: равномерная укладка кусковой и вулканитовой смеси на ленту транспортера подачи; прокатка листовых полуфабрикатов высотой от 6 до 14 мм; деление полуфабриката на мерные отрезки по длине; укладка отрезков на столе клети трио в пакеты из двух-шести отрезков и покрытие поверхностей пакетов отрезков тальком; подача пакетов на стол клети дуо и их прокатка после разворота на 90° по отношению к направлению прокатки в черновой клети трио; покрытие тальком листов после чистовой клети дуо и их подача на стол вырубного пресса; контроль качества и размеров вулканитовых листов.

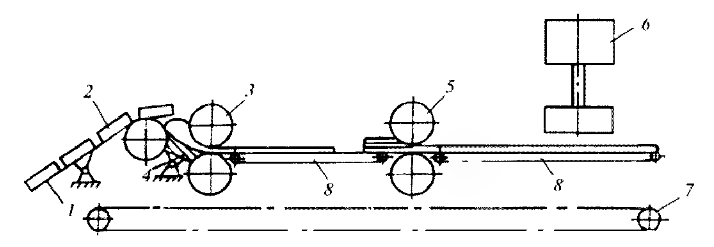


Рис. 7.13. Схема поточно-механизированной линии с двухклетевым станом:
1 — транспортер; 2 — кусковая абразивная масса; 3 — клеть трио; 4 — вставка; 5 — чистовая клеть дуо; 6 — вырубной пресс; 7 — транспортер возврата облоя; 8 — межоперационные транспортеры

К вспомогательным технологическим операциям относятся: подача на транспортной тележке вулканитовой смеси к прокатному стану; передача пакетов со стола черновой клети трио на стол чистовой клети дуо; передача готовых листов со стола чистовой клети дуо на стол вырубного пресса.

Технология прокатки полуфабрикатов и листов на ПМЛ с трехклетевыми станами

На ПМЛ с трехклетевым станом и чистовой клетью, имеющей горизонтальную ось прокатки, схема которой приведена на рис. 7.14, получают чистовой прокат, предназначенный в основном для вырубки кольцевых заготовок полировальных кругов диаметром 80—300 мм и высотой от 6 до 20 мм.

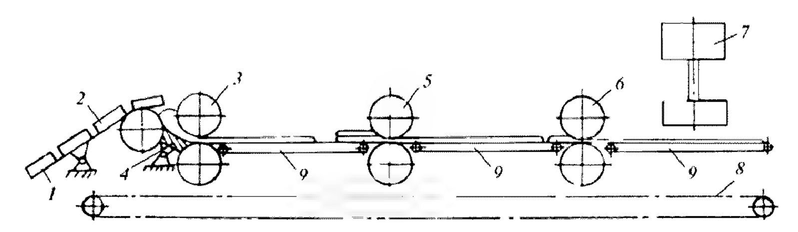


Рис. 7.14. Поточно-механизированная линия с трехклетевым станом и чистовой клетью с горизонтальной осью прокатки:
1 — транспортер подачи смеси; 2 — кусковая абразивная масса; 3 — клеть трио; 4 — вставка; 5 — промежуточная клеть дуо; 6 — чистовая клеть дуо; 7 — вырубной пресс; 8 — возвратный транспортер; 9 — межоперационные транспортеры

На этом же стане прокатывают листы размером 870 × 430 × 10 мм, предназначенные для вырубки кольцевых заготовок шлифовальных кругов.

Кроме листов средней высоты (от 6 до 20 мм), предназначенных для полировальных и шлифовальных кругов, на этом стане прокатывают широкий сортамент листов низкой высоты, предназначенных для вырубки кольцевых заготовок отрезных кругов наружным диаметром от 80 до 500 мм и высотой от 2 до 4 мм.

7.2.6. Вулканизация абразивных кругов

Самыми важными технологическими параметрами являются правильно выбранные температуры начала и конца вулканизации, а также оптимальные режимы повышения температуры в процессе вулканизации, обеспечивающие высокое качество абразивных кругов. Установлена температура начала вулканизации заготовок шлифовальных, полировальных и отрезных кругов — 100±5 °С. Процесс вулканизации заканчивается при температуре 175±2 °С. Начальная температура должна быть ниже температуры кипения растворителей каучука и влаги, которые могут содержаться в заготовках абразивных кругов. Если вулканизация начинается при температуре, значительно превышающей 100 °С, готовые круги могут иметь пониженную твердость или содержать дефекты в виде вспучивания. Но поскольку процесс вулканизации протекает при температурах, превышающих температуру плавления серы, не следует занижать температуру начала вулканизации, т. е. начинать вулканизацию при температуре значительно ниже 100 °С.

Содержание серы в вулканитовой связке оказывает большое влияние на процесс вулканизации. Если содержание серы превышает 1 % от содержания каучука, то между серой и каучуком начинается экзотермическое воздействие. Так, при взаимодействии 100 г натурального каучука и 47 г серы выделяется около 300 калорий на 1 г полученного эбонита, т. е. при температуре в вулканизаторе 140 °С круг может иметь температуру, равную 350 °С. Для устранения перегрева вулканизируемых заготовок за счет тепла экзотермической реакции в диапазоне температур бурного протекания этой реакции (от 135 до 140 °С) скорость нагрева обычно снижают или даже делают выдержку в режимах повышения температуры. В противном случае круги будут иметь пониженные твердость, прочность, могут даже возникать дефекты в виде трещин.

Важное значение в технологии вулканизации имеют общая длительность процесса вулканизации и время выдержки заготовок при разных температурах. В воздушном электровулканизаторе температура по зонам нагрева распределяется следующим образом:

Номер зоны	Температура, °С
I	100±5
II	120±5
III	130±5
IV	140±2
V	150±2
VI	160±2
VII	170±2
VIII	175±2
IX	Зона охлаждения

Общее время вулканизации кругов на вулканитовой связке составляет 10—14 ч, а время подъема и выдержки по зонам зависит от характеристики абразивного инструмента.

Кроме указанных параметров большое значение для технологии вулканизации имеют размеры и характеристика кругов, характер их расположения на съемных столах вагонеток вулканизаторов. Перед укладкой в стопки с кольцевых заготовок кругов удаляют тальк и крошки вулканитовой массы, затем кру-

ги в зависимости от диаметра и высоты укладывают в стопки высотой от 30 до 280 мм на съемные столы вагонеток. В каждой стопке может находиться до 50 штук отрезных (минимальной высотой 0,6 мм), до 10 штук шлифовальных (минимальной высотой 3 мм) и до 5 штук полировальных (минимальной высотой 6 мм) кругов. Высокие шлифовальные и полировальные круги типов 1, 5, 7 и 36 устанавливают по одному кругу на установочную плиту, сверху покрывают перекладной плитой. Каждая из стопок перекладывается плитой, и стопки могут накладываться друг на друга.

Расстояние между стопками должно быть не менее 50 мм. Края стопок кругов не должны выступать за края столов. Перекладные плиты должны иметь наружный диаметр, превышающий диаметр заготовок. Так, для отрезных кругов диаметром от 250 до 600 мм используют плиты диаметром от 265 до 625 мм, высотой 20 мм с диаметром отверстия, равным 32 мм. Перекладные плиты выполняют целый ряд важных функций, прежде всего по уменьшению коробления заготовок от воздействия теплового поля и по устранению возгонки серы с поверхности заготовок.

Общая высота уложенных друг на друга стопок на столах не должна превышать 280 мм, т. е. друг на друга можно устанавливать от трех до пяти стопок. Надо иметь в виду, что при такой укладке стопок на каждую отдельную заготовку действует значительное нормальное давление. Причем на круги нижней и верхней стопок действует разное по значению удельное давление. Значение удельного давления на круги является тоже важным параметром, влияющим на технологию вулканизации.

Таблица 7.12

Размеры стопок отрезных кругов при их хранении после вулканизации

Размеры круга, мм			Высота стопки, мм	Количество кругов в стопке, шт.
Наружный диаметр	Высота	Диаметр отверстия		
80–150	0,6–4,0	20, 32	200–300	80–300
175, 200	0,6–4,0	32	200–350	80–300
250	1,6–3,0	32	350–600	200
300	2,0–3,0	32	800–950	300–400
400	3,0–4,0	32	До 1000	250–300
500	4,0	32	До 1000	200–250

Существенное значение в технологии вулканизации кругов имеет также операция их охлаждения. Не допускаются снятие перекладных плит со стопок, перестановка стопок и другие перемещения стопок на столах до полного их охлаждения. Обязательно оговариваются значение стопок кругов и условия их хранения после вулканизации. В качестве примера, в табл. 7.12 даны размеры стопок отрезных кругов при их хранении после вулканизации.

7.4. Механическая обработка кругов на вулканитовой связке

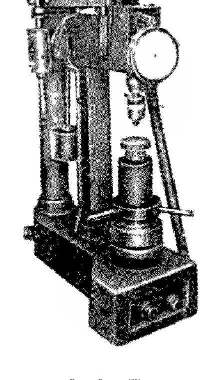
Все абразивные круги на вулканитовой связке после вулканизации подвергаются механической обработке: расточке отверстий, обработке наружных диаметров и боковых поверхностей. Первые две операции выполняются

на отрезных, шлифовальных и полировальных кругах типов 1, 5, 7 и других наружным диаметром от 60 до 500 мм и высотой от 0,6 до 10 мм. Шлифовальные круги высотой 10 мм и более обрабатываются также и по торцевым поверхностям.

Посадочные отверстия отрезных кругов среднего и большого диаметров размером 20 + 0,3 или 32 + 0,3 мм растачиваются набором в пакетах высотой до 100 мм алмазными зенкерами типов ЗАР-20 и ЗАР-32 без охлаждения на вертикально-сверлильном станке модели 2125. Шлифовальные круги с отверстиями диаметром 20 + 0,3; 32 + 0,3; 76 + 0,3; 127 + 0,5; 203 + 0,5; 224 + 0,6 и 305 + 0,6 мм также обрабатываются в пакетах высотой до 200 мм на вертикально-сверлильных станках моделей 2170 и 2135 алмазными зенкерами типов ЗАЗ-32 и ЗАР-76. Кроме отверстий на указанных станках растачиваются выточки на кругах типов 5 и 7.

Токарная обработка отрезных, шлифовальных и полировальных кругов по наружному диаметру выполняется без охлаждения керамическим инструментом в виде брусков размером 60 × 80 × 280 мм на токарно-лобовых станках общего назначения. Перед обточкой круги, как правило в виде пакетов, устанавливаются на оправки, точно соответствующие диаметру внутреннего отверстия (от 20 до 305 мм).

По боковым поверхностям без охлаждения обрабатываются шлифовальные круги диаметром 50–150 мм и высотой 10–275 мм и полировальные круги диаметром 80–500 мм и высотой 13–80 мм алмазными брусками марки АПС-2 по ТУ 2-037-53–76 на полировальных станках модели 3Д756. На магнитном столе станка в процессе обработки с помощью стальных оправок крепятся один (диаметром 400 мм и более) или несколько (диаметром 80–350 мм) кругов.


Рис. 7.15. Прибор типа ТК для определения твердости абразивного инструмента на вулканитовой связке зернистостью 80–М14


7.5. Контроль качества кругов

После механической обработки круги подвергаются контролю в соответствии с действующими ГОСТами и техническими условиями. Контролируются:

неуравновешенность кругов;

внешний вид и геометрические размеры;

твердость акустическим методом по ГОСТ 25961–83. Согласно ТУ 2-036-101687 звуковые индексы, замеренные прибором "Звук 107", должны иметь значения 33, 35, 37, 39, 43 и 45. Для абразивных инструментов на вулканитовой связке из электрокорундовых материалов звуковые индексы 33 и 35 соответствуют степени твердости Т.

Контроль твердости шлифовальных и полировальных кругов на вулканитовой связке выполняют методом вдавливания конуса по ГОСТ 21329–75 на модернизированном приборе "Роквелла" типа ТКВ (рис. 7.15). Параметры конуса: угол при вершине конуса — 60±5°, радиус вершины конуса — 0,05±0,01 мм, шероховатость поверхности кону-

са — $R_a \leq 0{,}32$ мкм. Для измерения твердости на приборе ТКВ вначале прикладывается предварительная нагрузка, равная 98±1,9 Н, а затем в течение 3 или 4 с — рабочая нагрузка, равная 588±2,9 Н. Значение твердости оценивается условными единицами, каждая из которых соответствует перемещению конуса на 0,002 мм. Степени твердости кругов соответствуют следующим показателям прибора:

Степень твердости	**Показания прибора**
СМ	410–350
С	350–300
СТ	300–250
Т	250–200

Механическая прочность кругов определяется по ГОСТ 12.3028–82 на специальных стендах разных моделей.

Авторы [372] предлагают предварительный контроль качества инструмента на вулканитовой связке анализировать методом водопоглощения (отношение массы воды, поглощенной образцом при полном насыщении к массе сухого образца).

Известно, что чем больше и многообразнее по своей физической и химической природе связей присутствует в композиционном материале, тем выше его устойчивость к воздействию внешней среды и выше механическая прочность. Устойчивость к воздействию внешней среды может служить критерием возможности образования устойчивых химических связей в композиционном материале связки вулканитового инструмента.

Объектами исследования служили шлифовальные круги твердостью СМ с рабочей скоростью 35 м/с, изготовленные по одной рецептуре, отличающиеся только партиями одной и той же марки твердого каучука. На образцах пятикратной повторности определяли показатели "водопоглощение" и "разрывная скорость".

Результаты представлены на рис. 7.16, который иллюстрирует взаимосвязь между водопоглощением и механической прочностью, определяемой по разрывной скорости.

Образцы с низким значением показателя "водопоглощение" (0,5–1,5 %) имеют высокую разрывную скорость (80–115 м/с), в то время как превышение показателя "водопоглощение" выше 2,5 % приводит к резкому снижению разрывной скорости (примерно 70 м/с и ниже).

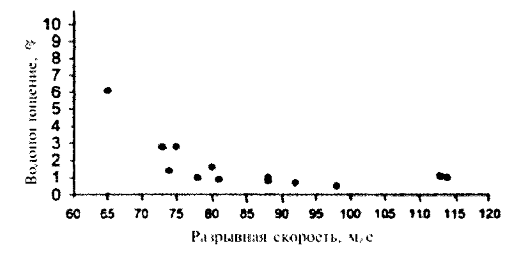


Рис. 7.16. Взаимосвязь разрывной скорости с водопоглощением образцов

Таким образом, колебания в структуре абразивного инструмента, обусловленные нестабильностью исходного твердого каучука от партии к партии (по молекулярной массе, количеству "неподшитых" низкомолекулярных олигомеров, склонностью к окислению и термоструктурированию), сказываются на показателе "водопоглощение", взаимосвязанном с физико-механическими свойствами инструмента. Можно предположить, что композиционный материал с низким показателем водопоглощения будет иметь большое количество поперечных сшивок при вулканизации и, как следствие, высокие прочностные характеристики. Установлено предельное значение показателя "водопоглощение" (2,5 %), выше которого физико-механические свойства резко падают.

Аналогичным образом показатель водопоглощения реагирует на колебания в технологическом режиме изготовления абразивного инструмента.

7.6. Отрезные круги на вулканитовой связке

Отрезные круги на вулканитовой связке выпускаются по ГОСТ 21963–2002 с упрочняющими элементами (Rf) или без упрочняющих элементов (R) по международным стандартам ISO 603/2–81 (табл. 7.13); ISO 525–86; ISO 1117–75 (табл. 7.14), техническим условиям ТУ 2-036-1116–87 (табл. 7.15), а также с двухсторонним поднутрением и рифлением торцевых поверхностей (рис. 7.17).

Круги на вулканитовой связке используются на следующих операциях: отрезка и прорезка; предварительное и чистое шлифование; полирование; вышлифовка стружечных канавок и заточка режущего инструмента.

Круги выпускаются прямого профиля, с выточкой, с двухсторонней выточкой.

Таблица 7.13

Размеры отрезных кругов без упрочняющих элементов по ISO 603/2–81

D, мм	*T*, мм		*H*, мм
	не менее	не более	
63; 80	0,8	3,2	9,53; 10; 13
100	0,8	3,2	9,53; 10; 16; 20
125	0,8	3,2	22; 23*
150	0,8	3,2	16; 20; 32
180	0,8	3,2	16; 22; 23*; 32
200	0,8	3,2	16; 20; 32
230	1,6	4,0	22; 23*
250	1,6	4,0	16; 32
300	1,6	4,0	22; 23*; 32
350	2,5	4,0	32
400	2,5	5,0	32; 40
500	3,2	6,0	32; 40; 76,2
600	4,0	8,0	32; 60; 76,2

* Для ручных машин.

Таблица 7.14

Размеры отрезных кругов с упрочняющими элементами по ISO 1117–75

D, мм	*H*, мм		*T*, мм
	Один упрочняющий элемент	Несколько упрочняющих элементов	
80	–	3,2	13
100	–	3,2	16
150	–	3,2	16
200	–	3,2	25
250	3,2	4	25
300	3,2	4	25
400	4	4	25
500	5	6	25; 76,5
600	6	8	25; 76,5

Примечание. Два наружных упрочняющих элемента эквивалентны одному внутреннему.

Таблица 7.15

Размеры отрезных кругов на вулканитовой связке по ТУ 2-036-1116–87

D, мм	*T*, мм	*H*, мм
80	1,0; 3,0	20
100	0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 3,0	20
125	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,3; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0	32
150	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,3; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0	32
175	0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0	32
200	0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0	32
250	1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0	32
300	2,0; 2,5; 3,0	32
400	3,0; 4,0	32
500	4,0	32

Отрезные круги на вулканитовой связке обладают эластичностью и плотностью и могут быть изготовлены очень тонкими (толщиной 0,6–1,0 мм; диаметр кругов 80–200 мм).

Твердость кругов со звуковым индексом 33–37 по ГОСТ 21963–82, с рабочей скоростью 50–60 м/с.

Для повышения рабочей скорости до 80 м/с отрезные круги армируются с применением упрочняющих элементов: стеклосетки и металлической калибрующей втулки [373].

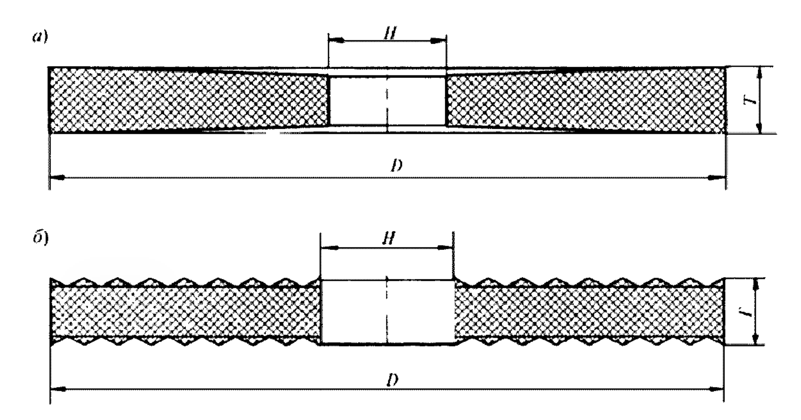


Рис. 7.17. Отрезные круги на вулканитовой связке с поднутрением (*а*) и рифлением (*б*) боковых поверхностей

Авторами [374, 375] была разработана технология изготовления отрезного круга с упрочняющими элементами (рис. 7.18) и со сложной микрогеометрией торцевой поверхности круга.

Опытные круги были испытаны в промышленных условиях у потребителя и показали увеличение коэффициента шлифования при резке стальных труб в 1,5–2 раза.

Таким образом, армированные отрезные круги имеют следующие преимущества:

способность работать с применением любых СОЖ с сохранением твердости и стойкости;

обеспечение высокого качества поверхности, поскольку при резке с охлаждением уменьшается нагревание, снижается усилие резания, исключаются прижоги;

повышенный на 20 % коэффициент шлифования по сравнению с обычными отрезными кругами на вулканитовой связке;

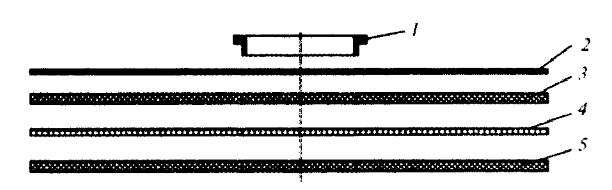


Рис. 7.18. Схема строения отрезного круга с упрочняющими элементами:

1 – калибрующая металлическая втулка; *2* – этикетка, *3* – вулканитовая заготовка круга; *4* – стеклосетка; *5* – вулканитовая заготовка круга

снижение вредного влияния торцевого трения в процессе резания за счет снижения площади торцевой поверхности круга, а также снижение до 60 % потребления мощности, идущей на разогрев поверхностей.

Отрезные круги на вулканитовой связке применяются в машиностроении, электронике, электротехнике, где требуются прорезные работы высоколегированных сталей, твердых сплавов, дорогостоящих и редкоземельных материалов.

Технология изготовления отрезных кругов на вулканитовой связке аналогична технологии изготовления других видов кругов, за исключением некоторых особенностей: состава связки и рецептуры абразивной смеси. Так, вулканитовая связка для отрезных кругов содержит от 45 до 53 % каучуковой основы; уменьшенное количество наполнителей (до 20 %); незначительное количество (примерно 3 %) мягчителей — фенолформальдегидных смол (СФ-011, СФ-012, СФ-015 по ГОСТ 18694–80); значительное количество серы (от 21 до 24 %); в ней не используется в качестве наполнителей жженая магнезия и частично цинковые белила.

Отрезные круги на вулканитовой связке могут изготавливаться практически из всех абразивных материалов — электрокорундов и карбида кремния.

М.М. Домекина и Г.И. Кузнецова разработали отрезные круги на вулканитовой связке для работы с повышенными скоростями (60–70 м/с) с использованием в качестве связующего твердого и жидкого каучука, а в качестве наполнителя — криолита при оптимальном составе: 15–30 мас. ч. жидкого каучука, 30–40 мас. ч. криолита. Предел прочности инструмента на такой связке на разрыв повышается до 30 %, а разрывная скорость кругов — до 127 м/с. Эксплуатационные показатели (коэффициент шлифования) разработанных отрезных кругов в 1,5 раза выше отечественных серийных кругов.

Формование отрезных кругов на вулканитовой связке может быть произведено прокаткой формовочной смеси с последующим прессованием или вырубкой заготовок кругов из пластин ножом со смазкой вырубного штампа, например кругов с наружным диаметром от 80 до 200 мм и высотой до 2 мм [375], что позволило получить точные геометрические размеры кругов и гладкого ровного края по наружному и внутреннему диаметрам круга. Для получения точных геометрических размеров по посадочному отверстию термическая обработка тонких отрезных кругов должна осуществляться на металлических закаленных и отшлифованных стержнях, смазанных той же смазкой, которая использовалась при вырубке.

7.7. Полировальные круги на вулканитовой связке

Согласно техническим условиям ОСТ 2470-1–78 предприятия России выпускают полировальные абразивные круги на следующих видах связок [376]:

вулканитовая марки В6 (рис. 7.19);

бакелитовая с графитовым наполнителем марки Б4;

глифталевая марки ГФ;

поливинилформалевая марки ПФ.

В качестве шлифовального материала при изготовлении полировальных кругов используют электрокорунд нормальный, белый, а также карбид кремния зеленый и черный.

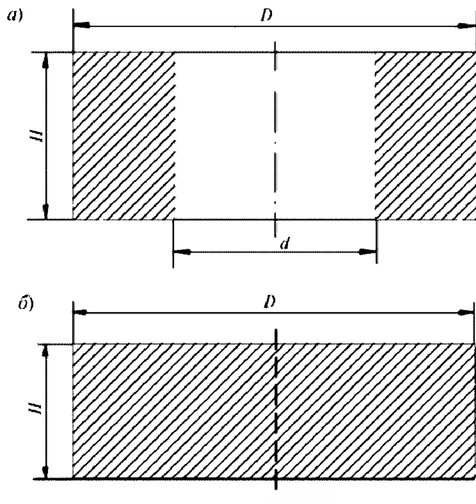


Рис. 7.19. Полировальные круги
на вулканитовой связке марки В6:

а – тип ПП; *б* – тип П

Вулканитовая связка марки В6 представляет собой сложные композиции на основе смеси жесткого каучука СКД СР и жидкого марки СКД 1А. Состав композиции связок определяется заданной твердостью полировальных кругов. В качестве примера в табл. 7.16 приведен весовой состав композиций для получения кругов твердостью ГМ (круги гибкие и мягкие), ГС (круги гибкие и средней твердости) и ГТ (круги гибкие и твердые). Кроме кругов среднеэластичных твердостью ГМ, малоэластичных твердостью ГС и жестких твердостью

Таблица 7.16

Весовой состав композиций связки В6
для полировальных кругов на одну загрузку резиносмесителя

Наименование компонента	Масса компонентов, кг, при степени твердости круга		
	ГМ	ГС	ГТ
Каучук марки СКД СР	17,0	17,0	17,0
Каучук марки СКД С1Р	3,0	3,0	3,0
Сера	0,6	1,2	2,5
Смесь ускорителей	0,4	0,4	0,4
Магнезия жженая	8,15	8,15	8,15
Криолит	0,7	0,7	0,7
Антистаритель марки ОМСК-1	1,0	1,0	1,0
Итого	30,85	31,45	32,75

ГТ (ОСТ 2 И70-1-78) регламентирует также выпуск эластичных кругов твердостью ГВМ (круги гибкие и весьма мягкие).

Приготовление композиций связки выполняется прокаткой на смесительных вальцах марки СМ-ПД1500.

После приготовления связки и шлифовального материала выполняется операция их смешивания для получения исходной вулканитовой массы, предназначенной для формования из нее листовых полуфабрикатов. В зависимости от зернистости шлифовального материала к 120 кг зерна добавляют 30 кг связки в случае, когда зернистость находится в пределах 25–40, и 34 кг связки в случае, когда зернистость находится в пределах 16–20. Приготовление вулканитовой массы выполняют также прокаткой на смесительных вальцах марки СМ-1500. Принципиальных отличий в конструкциях вальцов типов СМ-ПД1500 и СМ-1500 нет, но вальцы для приготовления вулканитовой массы снабжены специальным барабаном для повторной подачи кусков массы в валки.

Завершающими операциями в технологии производства полировальных кругов являются вулканизация заготовок, их механическая обработка, а также проверка геометрических размеров, свойств и качества готовых абразивных кругов.

7.8. Производство абразивного инструмента на органических связках за рубежом

Практически все абразивные фирмы мира выпускают абразивный инструмент на органических связках. Объемы и ассортимент выпускаемой продукции гораздо больше, чем производят отечественные фирмы.

Отметим только самые крупные фирмы мира. К ним относятся: в США — фирма Norton [377–379], в Европе — австрийская фирма Tyrolit [380–383], английская фирма Unikorn Abrasives [384–386], немецкие фирмы Naxos-Union [387–390], Efesis [391–394], PFRRD [395–396], Artefex [397–401], итальянские фирмы Molemab [402–405], Grandinetti [406] и ABRA Beta [407], ирландская фирма Radiac [408–412] и др.

Круги на органической связке используют для таких видов абразивной обработки, как шлифование (обдирочное, круглое наружное и внутреннее, бесцентровое, плоское, профильное и др.), полирование металлических и неметаллических материалов, заточка режущего промышленного и хозяйственного инструмента, отрезка заготовок металлических и неметаллических материалов, зачистка и прорезка пазов в изделиях и деталях машин.

Фирма Norton согласно информации [377] выпускает отрезные круги прямого профиля типа 41 без упрочняющих элементов диаметром от 100 до 250 мм, высотой от 1 до 3 мм и диаметром отверстия от 13 до 32 мм для ручной резки, отрезные круги типов 41 и 41R (с упрочняющими элементами) для машинной и ручной резки диаметром от 63 до 400 мм, высотой от 0,9 до 4,5 мм и диаметром отверстия от 6,35 до 25,40 мм. Круги типа 41R используют для резки сталей, цветных металлов и неметаллических материалов со скоростью 80 и 100 м/с на стационарных машинах. Фирма выпускает также армированные круги с утопленным центром типов 27 и 42 диаметром от 100 до 230 мм, высотой от 3,2 до 7,0 мм и диаметром отверстия от 16,0 до 22,2 мм. Круги

типа 27 используют в основном для резки металлов и неметаллических материалов на переносных машинах, а круги типа 42 высотой 6,5 и 7,0 мм чаще применяют для зачистных работ. Для высокопроизводительной машинной резки фирма выпускает также круги большого диаметра.

Компания Tyrolit — одна из пяти самых крупных в мире компаний, производящих абразивный инструмент. Ассортимент обдирочного, шлифовального, полировального, заточного и отрезного абразивного инструмента превышает 80000 наименований [383]. В самых больших объемах фирма Tyrolit выпускает круги типов 1, 2, 5, 6 и 7 диаметром от 3 до 1500 мм на керамической и бакелитовой связках. Значительную долю выпускаемой продукции составляет эластичный инструмент, предназначенный для чистового шлифования и полирования изделий из металлов, стекла, природного камня, дерева и других материалов, а также отрезной инструмент типов 27, 41 и 42. Кроме этого, фирма Tyrolit является одним из крупнейших в мире производителей абразивного инструмента из кубического нитрида бора и алмазов.

Немецкая фирма Naxos-Union выпускает абразивный инструмент на бакелитовой и вулканитовой связках для обдирки стальных заготовок и резки металлических и неметаллических материалов, а на вулканитовой связке — в качестве ведущих при бесцентровом шлифовании, а также в качестве отрезных при резке сталей. В табл. 7.17 показаны размеры обдирочных кругов и рабочие скорости, на которых рекомендуется эксплуатация этих кругов.

Технология горячего прессования, специальная рецептура позволяют получать практически беспористые круги, обладающие высокой плотностью. В процессе силового обдирочного шлифования инструментальных нержавеющих и жаропрочных сплавов круги фирмы допускают приложение усилия до 20000 Н.

Таблица 7.17

Размеры обдирочных кругов фирмы Naxos-Union и рабочая скорость их при обдирочном шлифовании

Размеры, мм			Рабочие скорости, м/с
D	*T*	*H*	
300	9	32	63
400	40	1127	63
400	50	152,4	63
450	40	127	63
450	50	152,4	63
500	50	127	63
500	50	203,2	80
610	65	203,2	80
610	76	203,2	80
610	76	304,8	80
610	102	203,2	80
610	102	304,8	80
610	127	203,2	80
610	127	304,8	80

Для производства инструмента на вулканитовой связке окончательное смешивание абразива со связкой и получение листовых заготовок фирмы выполняют прокаткой. Получение высоких кругов для бесцентрового шлифования производится прессованием стопок вырубленных кольцевых заготовок в автоклавах при небольшом давлении и температуре 160 °С, нагрев автоклава — электронагревателями или паром.

Фирма Efesis производит отрезные круги торговой марки FAG для машинной и ручной резки металлопродукции и отрезные круги для резки изделий из камня и бетона. Отрезные круги типов 41, 27 и 42 в основном на бакелитовой связке предназначены для резки материалов на скоростях до 100 м/с. В качестве абразивного материала для отрезных кругов используют различные марки электрокорунда и карбида кремния. Большой интерес представляют эластичные отрезные круги фирмы Efesis. Рекомендуемые фирменные марки отрезных кругов и разрезаемые материалы приведены ниже:

Марка круга	**Разрезаемый материал**
F24, XF24, F115	**Аустенитная сталь**
F1, XF1, F11, XF11	**Конструкционная сталь**
F1, XF1, F2, XF2	**Тяжелые цветные металлы**
F24, XF24, F28, F1, XF1, F2, XF2	**Нержавеющая сталь**
F116, T83, T84	**Литые металлы**
F62	**Цветные металлы**
F11, XF11, T83, T84	**Стали**
F1, XF1	**Высокопрочные стали**
F1, XF1	**Инструментальные стали**
F4, XF4	**Асфальт**
F4, XF4, T215, TF217	**Бетон и железобетон**
T215	**Черепица**
F4, XF4, T215	**Огнеупорный кирпич**
TF217	**Керамика**
T215	**Клинкерный кирпич**
F2, XF2, F4, XF4, F22, XF22, T216, TF217	**Натуральный и искусственный камни**

Фирменные марки с буквенными обозначениями F, T, TF означают отношение отрезного круга к типу 41, а марки с обозначением XF — отношение отрезного круга к типам 27 и 42. Диаметры отрезных кругов находятся в пределах 100–400 мм, а высота — в пределах 2,5–4,5 мм.

Кроме того, фирма производит круги на вулканитовой связке для бесцентрового шлифования.

Отрезные круги фирмы PFERD, в основном армированные упрочняющими элементами, типов 41 и 27 предназначены для ручной и машинной резки со скоростью от 50 до 100 м/с [круги для ручной резки типов 41 (фирменный тип ENT) и 27 (фирменный тип EH)]. Круги типов T и CT большого диаметра (1000–1200 мм) фирма изготавливает по специальному заказу. Отрезные круги фирма изготавливает из электрокорундовых материалов, циркониевого электрокорунда и карбида кремния.

Английские фирмы, например Universal Grinding Whell [386], выпускают круги на бакелитовой, шеллаковой и вулканитовой связках. Отрезные, не армированные упрочняющими элементами круги типа 41 на бакелитовой, шеллаковой и вулканитовой связках имеют диаметр от 100 до 457 мм и высоту от 0,8 до

4,5 мм. Армированные отрезные круги типа 41 на специальных связках на основе смол и шеллака фирма изготавливает диаметром от 50 до 610 мм и высотой от 2,8 до 6,2 мм. Отрезные неармированные круги типа 27 на специальных связках на основе смол имеют диаметр от 100 до 230 мм и высоту от 3,2 и 3,8 мм.

Ирландская фирма Radiac [410–412] специализируется в основном на выпуске шлифовальных, полировальных и отрезных кругов на вулканитовой связке. Типы 1, 2, 2а, 2б, 6, 6а, 6б и 37 показаны на рис. 7.19. Круги типа 1 наружным диаметром от 24,5 до 392 мм и высотой от 1,5 до 30,6 мм и типа 2 наружным диаметром от 220,5 до 490 мм и высотой от 73,5 до 122,5 мм используются для шлифования, полирования и отделки сталей (нержавеющих и жаропрочных), спецсплавов и цветных металлов (алюминия, меди, золота, титана), для заточки режущего инструмента бытового и промышленного назначения.

В больших объемах выпускаются круги типов 1,5 и 7 диаметром преимущественно до 343 мм и высотой до 245 мм, предназначенные для бесцентрового шлифования.

Фирма Radiac является самым крупным производителем электрокорундовых и карбид-кремниевых тонких диаметром 75–500 мм (минимальной высотой 0,8 мм) и единственным в мире производителем сверхтонких диаметром 25–250 мм (минимальной высотой 0,1 мм) отрезных кругов на вулканитовой связке [408].

Чешская фирма Carborundum Electrite изготавливает отрезные круги из карбида кремния марки С48 или электрокорунда марок 96А, 97РА, 98/97РА зернистостью 40–80, твердостью СТ1–СТ2, одинарным или двойным армированием с гладкой либо рифленой рабочей поверхностью.

Итальянская фирма Molemab выпускает отрезные круги на бакелитовой связке для ручной и машинной резки размером от 50 × 1,8 × 10 до 670 × 7 × × 80 мм. Для переносных установок резки выпускают круги типа 27 размером от 76 × 2 × 10 до 230 × 3,3 × 22 мм.

Итальянская фирма Grandinetti изготавливает армированные отрезные круги на бакелитовой связке типа 41 для стационарных установок диаметром от 250 до 1000 мм и высотой от 2,8 до 16 мм. Для передвижных установок используются круги типа 27 размером от 100 × 3,2 × 16,2 до 350 × 3,5 × 25,4 мм [406].

Для производства абразивного инструмента на органических связках фирмы применяют от 10 до 20 марок связок, как для производства кругов, так и для определенных операций шлифования, используя при этом сырье различного качества. В табл. 7.18 в качестве примера представлены свойства пульвербакелита, применяемого различными фирмами.

Например, фирма Norton изготавливает инструмент на органических связках: В (для кругов общего назначения), В3 (для изготовления обдирочных кругов), В 14 (для изготовления кругов прямого профиля), В 17 (для изготовления кругов круглого и бесцентрового шлифования), В25 (для отрезного инструмента), BNA (для армированных отрезных кругов общего назначения), B65NA3 (для отрезки специальных материалов), В34 (для бесцентрового шлифования), BZZ (для обдирки проката), В24 (для шлифования круглого проката), В28 (для машинного шлифования) и т. д.

Фирма Naxos-Union для производства кругов на бакелитовой связке применяет 10 марок связок, на вулканитовой — 5 марок; фирма Molemab на бакелитовой связке — 6 марок; фирма Universal на бакелитовой связке — 27 марок,

Таблица 7.18

Свойства пульвербакелита различных зарубежных фирм

Наименование показателя	Страна и марка связующего							
	Австрия					Германия	Италия	
	3034	3048	3030	FN-2/9	FN-487	2229	TT(1)	TT(2)
Температура плавления, °С	88–94	90–95	86–92	–	–	103–118	105–110	95–100
Текучесть, мм	16–20	12–14	17–24	15	15	12	12	18±1
Время желатинизации при 150 °С, с	65–75	65–86	68–76	44	45	0–20	–	–
Вязкость 50 %-ного раствора в ацетоне, СПз	74	–	–	90	95,4	230–350	–	–
Содержание уротропина, %	13,8–14,3	8,8–9,3	8,8–9,3	8,56	8,44	8,5–9,5	9	8

на вулканитовой связке — 4 марки, фирма Radiac использует около 10 марок вулканитовых связок.

Технический уровень производства отличается широким внедрением автоматических линий для получения абразивного инструмента. Контроль качества включает в себя проверку не только механических свойств и уравновешенности изделий, но и установление структуры и обнаружение дефектов путем применения рентгенографии, микроскопов, в том числе сканирующих. Научные исследования направлены в основном на разработку новых видов абразивного инструмента, улучшение качества существующего инструмента (например, шлифовальных кругов до скорости шлифования 160 м/с, отрезных кругов до скорости резки 180 м/с) и нового абразивного инструмента для резки природного камня, строительных материалов, черепицы, стекла, дерева, пластмасс и других неметаллических материалов.

Фирмы, как правило, имеют международные сертификаты управления качеством продукции.

Глава 8

АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ

В производстве абразивного инструмента выпуск инструмента на гибкой основе (шлифовальной шкурки) занимает примерно 20 %.

Шлифовальная шкурка представляет собой абразивный инструмент, в котором шлифзерно закреплено связкой на гибкой основе (бумаге, ткани, фибре) или комбинированной основе (бумага + ткань) [413]. В общем виде конструкция шлифовальной шкурки представляет собой систему основа — аппрет — связующее — шлифовальный материал — связующее. Качество инструмента на гибкой основе зависит от свойств связующего, аппретирующих составов, прочности основы, состава зерна и его формы. Шлифовальная шкурка применяется в виде шли-

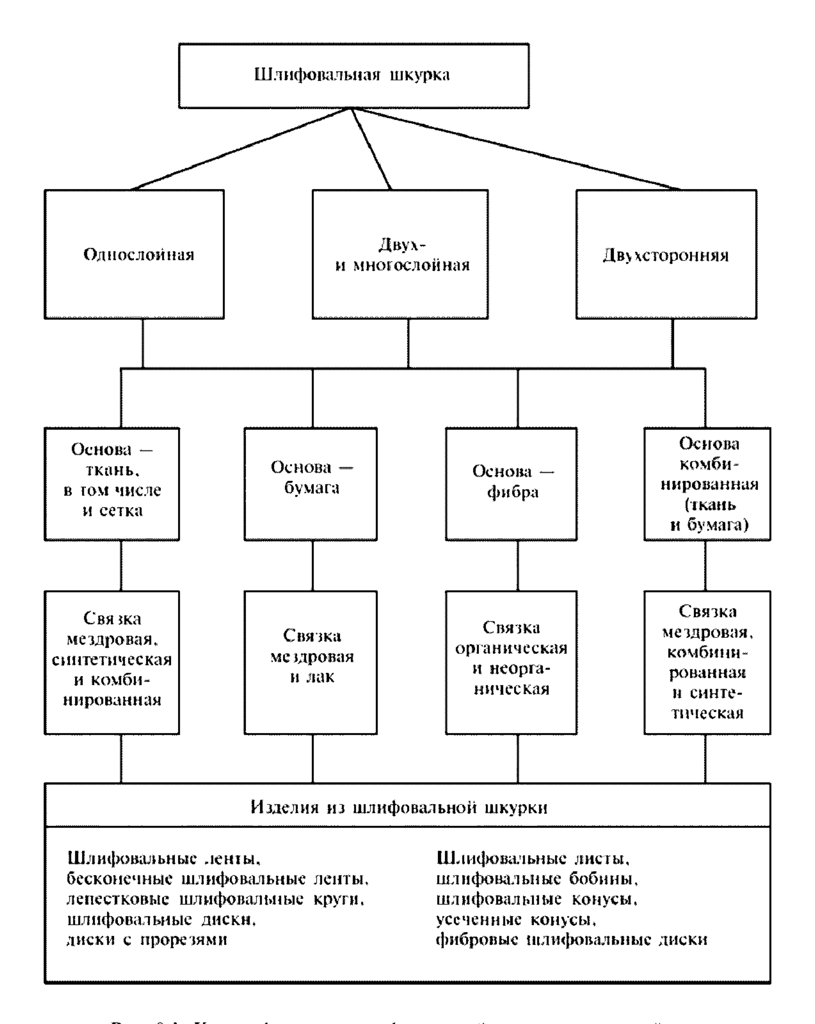


Рис. 8.1. Классификация шлифовальной шкурки и изделий из нее

фовальных листов, бесконечных лент, бобин, дисков, трубок, колец, конусов, лепестковых кругов и др. Предназначается для машинной и ручной абразивной обработки (шлифования и полирования) различных материалов без охлаждения или с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), приготовленных на основе масла, керосина, уайт-спирита, воды. Режущая способность, прочность закрепления абразивных зерен и установленная наработка шлифовальной шкурки определяются комплексом свойств основы и связки, маркой и зернистостью шлифматериала, способом его нанесения на гибкую основу [414, 415].

Основным преимуществом обработки шлифовальной шкуркой являются: высокие производительность и качество обработанной поверхности, отсутствие необходимости в балансировке и алмазной правке, возможность быстрой и легкой замены инструмента, а также возможность изменения операции обработки выбором соответствующего ролика или копира. На рис. 8.1 приведена классификация шлифовальной шкурки и изделий из нее.

8.1. Виды шлифовальной шкурки

В промышленности выпускаются следующие виды шлифовальной шкурки.

1. *Шкурка бумажная неводостойкая* (ГОСТ 6456–82), предназначается для обработки различных материалов без охлаждения или с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на основе масла, керосина и уайт-спирита. Изготавливается двух типов: 1 — для машинной и ручной обработки неметаллических материалов (дерева, кожи, резины, пластмассы и других неметаллических материалов); 2 — для машинной и ручной обработки металлов и сплавов — и выпускается со следующими видами рабочего слоя: С — сплошной; Р — рельефный (рис. 8.2).

2. *Шкурка шлифовальная тканевая неводостойкая* (ГОСТ 5009–82), предназначается для абразивной обработки различных материалов без охлаждения или с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на основе масла,

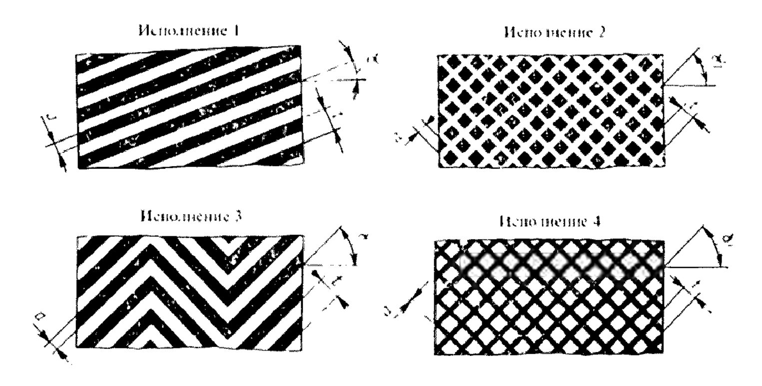


Рис. 8.2. Исполнения рельефного рабочего слоя шкурки бумажной неводостойкой

керосина, уайт-спирита. Шкурка выпускается с двумя видами рабочего слоя: С — сплошной и Р — рельефный (исполнение и размеры представлены на рис. 8.3), а также двух типов: 1 — для машинной обработки различных неметаллических материалов, металлов и сплавов низкой твердости и ручной обработки различных материалов; 2 — для машинной и ручной обработки твердых и вязких материалов, отличающихся большой прочностью материалов.

3. *Шкурка шлифовальная для обработки труднообрабатываемых материалов* (ГОСТ 27181–86), подразделяется на неводостойкую тканевую шлифовальную шкурку, водостойкие тканевую и бумажную шлифовальные шкурки. Абразивная обработка производится без охлаждения или с применением смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ): для неводостойкой — на основе масла, керосина, уайт-спирита; для водостойкой — на основе вышеперечисленных жидкостей и воды.

4. *Шкурка шлифовальная бумажная водостойкая* (ГОСТ 10054–82), предназначается для абразивной обработки различных материалов с применением и без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Выпускается в рулонах и шлифовальных листах.

5. *Шкурка шлифовальная тканевая водостойкая* (ГОСТ 13344–79), предназначается для абразивной обработки различных материалов с применением и без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на основе воды, масла, керосина и т. п. Изготавливается двух типов: 1 — для машинной и ручной обработки древесины, пластмассы, лаковых покрытий и сплавов с низкой твердостью; 2 — для машинной и ручной обработки твердых и прочновязких материалов и сплавов. Предусматривается два вида шлифовальной шкурки: О — однослойная и Д — двухслойная.

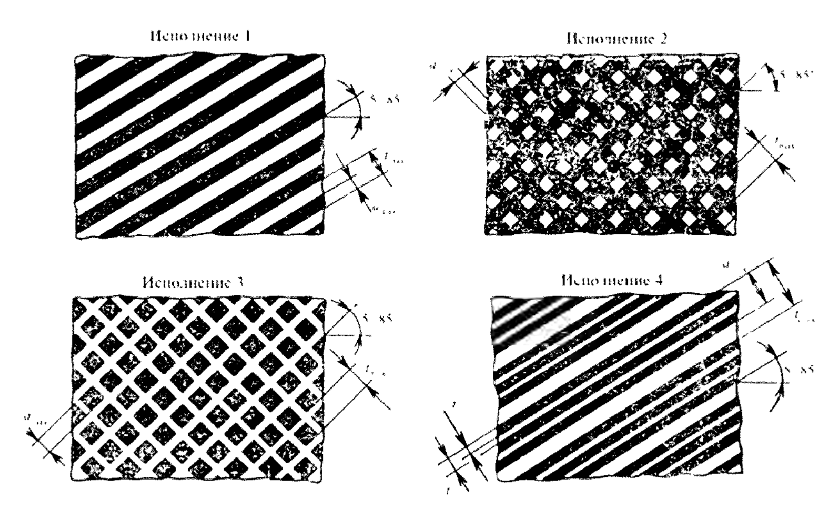


Рис. 8.3. Исполнения рельефного рабочего слоя шкурки тканевой неводостойкой

Различные марки бумаг и виды тканей применяются в зависимости от назначения шлифшкурки, а также от марки и зернистости шлифматериала. Выбор гибких основ обусловлен нагрузками при шлифовании. Например, саржа (следующих видов: особо легкая, легкая и средняя) применяется для изготовления шлифшкурки, предназначенной для работы со средними нагрузками. На особо тяжелых операциях применяется шлифшкурка на тканевой основе, такой как, например, саржа утяжеленная, прочная. Бумага марок О-140 (П1), О-200 (П2), О-235 (П4) используются при изготовлении шлифшкурки, предназначенной для работы со средними нагрузками, бумага марок О-240 (П5), БВ-225 (П9) — при изготовлении шлифшкурки, предназначенной для работы с большими нагрузками [416–419].

В зависимости от назначения шлифшкурки используются шлифзерно и шлифпорошки специального рассева с содержанием основной фракции от 35 до 65 % и микропорошки с содержанием основной фракции от 37 до 60 %, а также шлифматериал специальной формы (валковый помол) [420]. Основными требованиями, предъявляемыми к шлифматериалам при производстве шлифшкурки, являются требования к насыпной массе, капиллярности, зерновому составу, механической прочности. Выбор вида шлифматериала шлифшкурки зависит от вида обрабатываемого материала [421].

В табл. 8.1 представлены характеристика шлифовальной шкурки, размеры рулона, исходные материалы для изготовления, в табл. 8.2 — основные требования к различным видам основ шлифовальной шкурки.

8.2. Технология производства неводостойкой шлифовальной шкурки на бумажной основе

Технологическая схема производства неводостойкой шлифовальной шкурки на бумажной основе приведена на рис. 8.4.

8.2.1. Подготовка исходных материалов

Шлифовальные материалы толщиной слоя 20–30 мм в целях повышения их адгезии с клеящим веществом подвергаются термической обработке — прокалке при t = 700–800 °С в течение 30 мин, затем охлаждаются до температуры 40 °С. Скорость охлаждения не лимитируется. Перед изготовлением шлифшкурки шлифматериал, наносимый на основу электростатическим способом, подогревается в кюбелях до температуры 52±3 °С, а наносимый гравитационным способом — до температуры 100±5 °С.

Приготовление растворов мездрового клея (физико-механические свойства приведены в табл. 8.3) производится в варочном котле, оборудованном паровым подогревом и мешалкой, в который при включенном обогреве заливается вода и загружается необходимое количество клея (пример рецептуры клеевого раствора представлен в табл. 8.4), включается мешалка, и производится перемешивание клея со скоростью вращения 22 об/мин в течение 15–20 мин с поднятием температуры до 70±10 °С. При изготовлении шлифшкурки

Таблица 8.1

Характеристика шлифовальной шкурки, размеры рулона, исходные материалы для изготовления

Вид шлифовальной шкурки	Размеры		Абразивный материал		Основа шкурки (бумага или ткань) ГОСТ или ТУ	Состав для аппрета	Связка
	Ширина, мм	Длина, м	Вид	Зернистость			
Неводостойкая бумажная по ГОСТ 6456–82	1260 720 1000 720–1200 720–1000 1000–1400 720–1400	20 30;50 100 50 50 30;50	14А; 13А; 25А Легированный, циркониевый электрокорунды; монокорунд 64С; 63С; 54С; 53С; 51С Стекло 71С	50 50–М40 25–М40 50–6 25–М40 50–6	Бумага по ГОСТ 18277–90	Мездровый клей (М) по ГОСТ 3252-80	
Неводостойкая тканевая по ГОСТ 5009-82	700–1400	20; 30; 50	14А; 13А; 25А Легированный, циркониевый электрокорунды Монокорунд	125–М40 125-М40 125 М40 50–6	Хлопчато-бумажные ткани по ГОСТ 3357 88 и по ГОСТ 19196 80; ткань смешанная суровая каландрированная по специальным техническим условиям, нетканая основа; шифон	Мездровый клей (М) по ГОСТ 3252 80, крахмал, декстрин	Мездровый клей (М) по ГОСТ 3252-80, мездровый клей + фенолформальдегидная смола; формальдегидная смесь
Шлифовальная для обработки труднообрабатываемых материалов по ГОСТ 27181–86: неводостойкая тканевая	615–825 1100 1400	30; 40; 50; 20; 30; 40	14А; 13А; 25А 64С; 63С; 55С; 54С; 53С	50–40; 32–16 12М–28	Ткани по ГОСТ 3378–88 и ГОСТ 19196–80	Мездровый клей (М) по ГОСТ 3252–80, крахмал, декстрин	Мездровый клей (М) по ГОСТ 3252–80, мездровый клей + фенолформальдегидная смола

водостойкая тканевая	615–825 1100–1400	30; 40; 50; 20; 30; 40	14A; 13A; 25A; 64C 63C; 55C; 54C; 53C	50–40; 32–16 12– M28	То же	Поливинилацетатная эмульсия, этилцеллюлоза; фенолформальдегидная смесь, латексная композиция	Фенолформальдегидные смолы, жидкий бакелит, фенолфурфурольные смолы, жидкое натриевое стекло
водостойкая бумажная	1200	50; 100	64C; 63C; 55C; 54C; 53C	M63–M50 M40; M28	Влагопрочная бумага по ГОСТ 10127 92	–	Алкидные лаки, эпоксидэфиры
Водостойкая бумажная по ГОСТ 10054–82	500–700 950 1000	50; 100 30; 50	14A; 13A 64C; 63C; 54C; 53C; 51C	16–M14 16–M14	Влагопрочная бумага по ГОСТ 10127–92	–	Алкидные лаки Эпоксидэфиры
Водостойкая тканевая по ГОСТ 13344- 79	600- 745 800–840 725–800	20 30 20	14A; 13A; 25A 64C; 63C; 55C; 54C; 53C 51C	50–M40 50–M40	Ткани по ГОСТ 3357–88 и ГОСТ 19196–80	Поливинилацетатная эмульсия, этилцеллюлоза, фенолформальдегидная смола; латексная композиция	Фенолформальдегидные смолы, жидкий бакелит, фенолфурфурольные смолы, жидкое натриевое стекло марки С по ГОСТ 13078–86
Фибровые шлифовальные диски	Наружный диаметр *D* от 60 до 225 мм; диаметр посадочного отверстия *d* от 6 до 22 мм		14A; 13A Легированный электрокорунд	125–10 125–10	Фибра для шлифовальных дисков по ГОСТ 12456–83 марок А, Б и В Импортная фибра фирмы "Динамит Нобель" (Швеция) в листах	– –	Фенолформальдегидные смолы, жидкий бакелит, фенолфурфурольные смолы, жидкое натриевое стекло марки С по ГОСТ 13078–86

Таблица 8.2

Основные требования к различным видам основ шлифовальной шкурки

Наименование основы, ГОСТ, марка	Масса, г/м^2	Разрушающее усилие, *Н*, не менее, в направлении		Удлинение при разрыве, %, не более, в направлении		Сопротивление расслаиванию, Н/см, не менее	Сопротивление раздиранию, Н, не менее, в направлении	
		продольном	поперечном	продольном	поперечном		продольном	поперечном
Бумажная сухого шлифования по ГОСТ 18277–90								
Б-140	140±7	226	108	-	-	0,88	-	-
Б-200	200±10	255	127			0,88	–	–
Б-220	220±15	243	141	–	–	0,98	-	-
Б-240	240±18	412	147	–	–	0,98	–	–
БВ-260	260±20	421	186	5	12	1,47	2,75	3,33
Бумага влагопрочная по ГОСТ 10127–92								
ОВ 110	110^{+7}_{-5}	157	71	2,0	–		-	–
ОВ 200	200±10	240	122	–	–	-	–	-
ОВП-1-120	120±5	79,8	43	3,8	9,6	–	1,05	1,3
ОВП-1-120	120±5	95,0	25	3,8	9,6		0,95	1,2
Тканевая по ГОСТ 3357–88	масса, г/м^2	Разрывное усилие *Н*						
		Основа	Уток	Основа	Уток			
Саржа особо легкая гладкокрашенная (ЛОГ)	130±6	736	245	12	25			
Саржа легкая № 1 суровая (Л1)	170±8	549	343	12	12			

Саржа легкая № 2 суровая (Л2)	176±9	1030	363	12	22
Саржа легкая № 2 гладкоокрашенная (Л2Г)	176±9	1030	363	12	22
Саржа особо легкая суровая (ЛО)	136±71	785	284	16	13
Саржа средняя № 1 суровая (С1)	190±10	736	324	14	11
Саржа средняя № 1 гладкоокрашенная (С1Г)	175±9	804	324	8	18
Саржа средняя № 2 суровая (С2)	187±9	932	373	20	13
Саржа утяжеленная № 1 суровая (У1)	265±13	1158	373	18	10
Саржа утяжеленная № 2 суровая (У2)	245±12	1373	687	20	14
Саржа утяжеленная гладкоокрашенная (УГ)	235±12	1275	352	11	14

Фибра для шлифовальных дисков по ГОСТ 12456-83 марок:	Плотность, г/см³ не менее	Толщина, мм	Предел прочности в поперечном направлении, МПа, не менее	Относительное удлинение в машинном направлении, %
А	1,22	0,7±0,10	54	10
Б	1,22	$1{,}0^{+0{,}05}_{-0{,}10}$	52	8
В	1,22	$1{,}0^{+0{,}05}_{-0{,}10}$	50	6

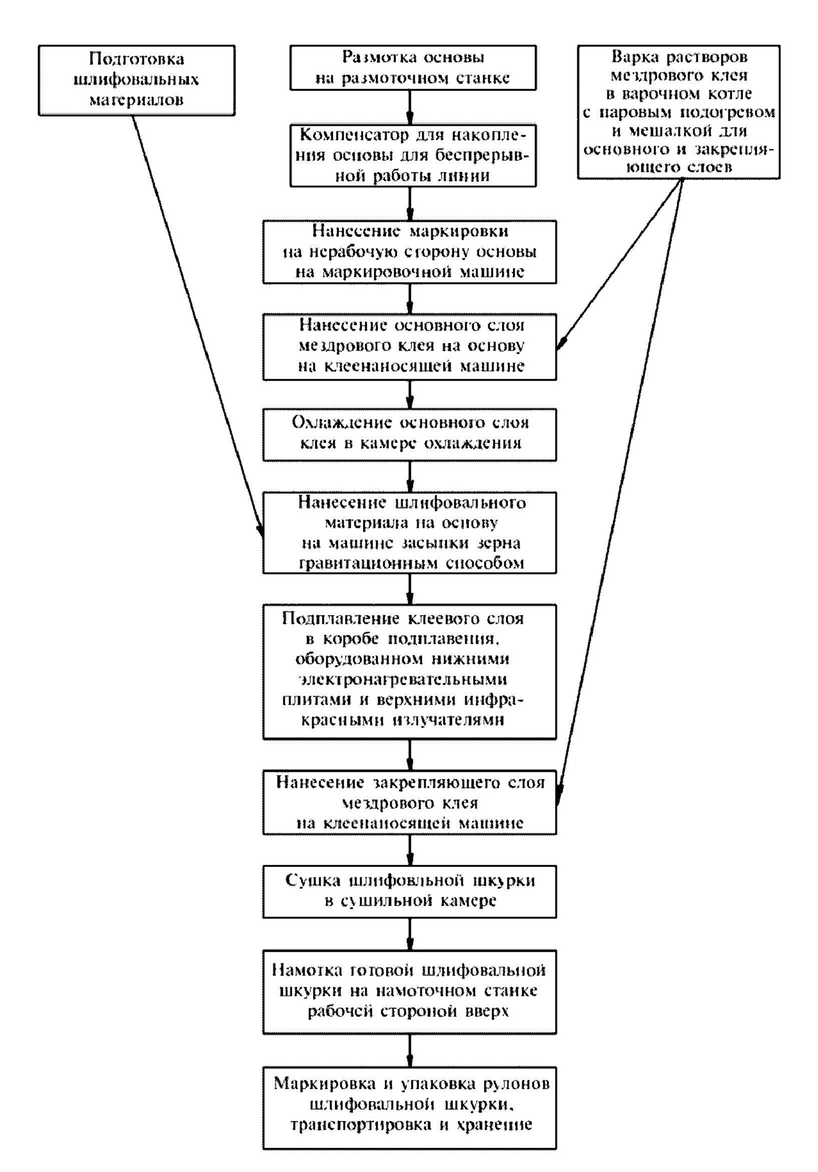


Рис. 8.4. Технологическая схема производства неводостойкой шлифовальной шкурки на бумажной основе

Таблица 8.3

Физико-механические свойства мездрового клея

Наименование показателя	Сорт клея			
	экстра	высший	1	2
Условия вязкости по Энглеру, не менее	6	5	4	3
Содержание влаги, %, не более	17	17	17	17
Содержание золы, %, не более	2,0	2,0	2,0	3,0
Загниваемость, сут.	5	5	5	4
pH	5,5–7,5	5,5–7,5	5,5–7,5	5,5–7,5
Клеящая способность, кг/см^2, не менее	100	100	100	75
Содержание жира, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,3
Пенистость, мг, не более	45	45	45	45

Таблица 8.4

Рецептура клеевых растворов на основе мездрового клея в зависимости от зернистости абразивного материала

Наименование компонента	Основной слой зернистостью абразивного материала			Закрепляющий слой
	50–25	20–12	менее 12	
Мездровый клей по ГОСТ 3252-80	400	300	280	175
Каолин	60	45	–	–
Вода	400	300	420	525

зернистостью от 50 до 12 в клеевой раствор для основного клеевого слоя добавляется каолин, размешивание которого продолжается в течение 0,5–1 ч до получения однородной смеси без комков и сгустков. Для предупреждения загниваемости клеевых растворов в клей добавляется водный раствор кристаллического сернокислого цинка (0,5 % к массе товарно-сухого клея). Готовый клей из варочного котла по трубопроводу подается в расходный котел.

8.2.2. Технология изготовления

Изготовление шлифовальной шкурки осуществляется на аппарате-конвейере фирмы "Родебейлер" (Германия), представляющего собой последовательно установленное оборудование в поточную полуавтоматическую линию, выполняющую следующие технологические функции [422]:

установка рулона бумаги-основы на размоточном станке с заправкой свободного конца основы через валики машины между нижними валами компенсатора, служащего для накопления бумаги-основы для обеспечения бесперебойной работы установки во время замены рулона бумаги и далее по всем узлам линии;

нанесение маркировочного состава, состоящего из типографской краски, разбавленной уайт-спиритом или керосином, на маркировочном станке, снабженном тянущим устройством и состоящим из двух валов — обрезиненного тянущего и стального прижимного, валов краскопередающих — обрезиненного и стального, обтянутого рукавом для подачи красителя из ванны на маркировочный штамп, из направляющих валов и вала обрезиненного прижимного для обеспечения четкой маркировки;

нанесение основного слоя клея на бумагу-основу на клеенаносящей машине, включающей в себя тянущее устройство (два вала — тянущий стальной и обрезиненный прижимной) клеенаносящего механизма, состоящего из трех валов, установленных над клеевой ванной: вал клееподающий обрезиненный, вал клеенаносящий обрезиненный и вал прижимной эбонитовый. Мездровый клей из расходного котла по трубопроводу подается в ванну, где посредством клеенаносящего механизма наносится на бумагу-основу. Количество наносимого слоя клея регулируется установкой зазора между валами механизма. Ванна с клеем обогревается с помощью водяной ванны с электронагревательными элементами, имеющими три ступени нагрева. Температура клея в ванне (для зернистостей 50–16 — 60±5 °С, 12 и менее — 65±5 °С) регулируется и контролируется термометром сопротивления;

охлаждение клеевого слоя, нанесенного на бумагу-основу при охлаждении его поверхности до студнеобразного состояния, производится в камере охлаждения, оборудованной охладителем, представляющим собой трубчатый воздухообменник с большим количеством мельчайших трубок, по которым проходит охлаждающая вода, подаваемая насосом из бака фреоновой установки, вентиляторами, которые подают воздух в камеру и отсасывают увлажненный воздух, соединенными с камерой охлаждения воздуховодами с шиберами для регулировки нагнетаемого и отсасываемого воздуха;

нанесение абразивного материала (режимы нанесения шлифматериалов представлены в табл. 8.5) на бумагу-основу, производится гравитационным способом на машине насыпки зерна, состоящей из насыпного устройства, оборудованного бункером, насыпным валом и ножом для регулировки щели подачи зерна, имеющей пневматически тянущий стол для протягивания шлифшкурки через насыпную машину к коробу подплавления с прижимным и натяжным валами, из перфорированной ленты, вакуумной коробки с вентилятором для создания вакуума, из транспортера и ковшового элеватора, предназначенных для возврата шлифматериала в бункер насыпной машины, из валов направляющего и вдавливающего. Подача зерна регулируется зазором между ножом и насыпным валом. Бумага-основа с нанесенным клеем абразивного материала проходит под вдавливающим вращающимся валом, который вдавливает зерно в слой клея. Избыток шлифматериала удаляется отбойным барабаном и ссыпается в приемный бункер;

подплавление клеевого слоя, производится в коробе подплавления, предназначенного для лучшего погружения в клеевой слой абразивного материала и состоящего из нескольких секций, в нижней части которых установлены электронагревательные плиты, а в верхней части расположены инфракрасные излучатели с параболическими отражателями. Бумага-основа с нанесенным на нее шлифматериалом проходит под инфракрасными излучателями на расстоянии

Таблица 8.5

Режимы нанесения шлифматериала 14А гравитационным способом в зависимости от зернистости

Режимы нанесения шлифматериала	Зернистость			
	40	50	63	80
Расход зерна на основу, г/м^2	500	560	680	760
Скорость насыпки зерна, кг/мин/30 см ширины	2,40	2,70	3,20	3,60
Скорость валов при подаче зерна, м/мин	7,5	7,5	7,5	7,5
Сита, мм	1,7 2,36	1,7 2,36	1,7 2,36	1,7 2,36
Отбойный валик без удаления зерна с транспортерной ленты	Средняя			

400 мм и над нагревательными плитами на расстоянии 80–100 мм. Подплавление клеевого слоя происходит подогретым воздухом, нагреваемым снизу плитами, сверху излучателями. Регулировка и контроль температуры осуществляются термометрами сопротивления. Температура для зернистостей М40–10 — 30±5 °С; 12–25 — 35±5 °С; 32–50 — 40±5 °С;

нанесение закрепляющего слоя клея производится на станке, состоящем из клеенаносящего механизма — обрезиненного клеенаносящего и прижимного валов, ванны для клеевого раствора с подогревом (температура клея в ванне для зернистостей 50–16 — 55±5 °С; 12–М40 — 65±5 °С), стола пневматического тянущего для подачи шлифшкурки к петлеобразователю сушильной камеры;

сушка шлифшкурки, производится в сушильной камере, состоящей из нескольких зон с различными температурными режимами: предварительной сушкой, основной сушкой увлажнения шлифшкурки перед намоткой. Режимы сушки шлифшкурки в зависимости от зернистости представлены в табл. 8.6 и 8.7. Сушка шкурки осуществляется теплым воздухом, подаваемым калорифером. Сушильная камера включает в себя: петлеобразователь на входе в сушило,

Таблица 8.6

Режимы сушки основного слоя связующего в промежуточном сушиле

Наименование параметра	Зона	
	1	2
Температура сухого термометра, °С	38	38
Температура влажного термометра, °С	29	29
Длина петель (гирлянды), м	6,5	6,5
Расстояние между петлями (вешалами), см	85	85
Время нахождения в сушиле, мин	30	30

Таблица 8.7

Режимы сушки закрепляющего слоя связующего в основном сушиле

Наименование параметра	Зона сушки				
	1	2	3	4	5
Температура сухого термометра, °С	60	68	74	77	74
Температура влажного термометра, °С	28	29	31	32	32
Длина петель (гирлянды), м	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Расстояние между петлями (вешалами), см	35–51	35–51	35–51	35–51	35–51
Температура воздуховода, °С	63	71	77	79	85
Время сушки при скорости полотна 40 м/мин, мин	25	25	18	25	15

состоящий из тянущего вакуумного стола; механизм подачи вешал на подъемное устройство (два кулачка, укрепленных на горизонтальном валу, приводимом во вращение от поперечного трансмиссионного вала) и накопитель; подъемное устройство для подъема вешал на транспортер (две втулочно-роликовые цепи со специальными захватами); транспортер гирлянд для перемещения шлифшкурки, состоящего из направляющих уголков и каретки с шарнирно закрепленными захватами для перемещения вешал, опирающейся на опорные ролики; петлесборник (две цепи для снятия вешал с транспортера гирлянд, передвигающиеся по наклонным направляющим), состоящий из приводного вала с двумя звездочками, двумя натяжными роликами и двух направляющих; накопитель вешал; горизонтальный транспортер для подачи вешал на петлеобразователь после клеенаносящего станка закрепляющего слоя, включающего в себя две втулочно-роликовые цепи со специальными захватами для подачи вешал из накопителя по наклонным направляющим на транспортер гирлянд и накопитель вешал; поперечный транспортер для подачи вешал от транспортера обратной транспортировки на первый петлеобразователь. Последний состоит из открытого желоба, прорезиненной ленты двух барабанов — приводного и натяжного.

Привод всех механизмов сушильной камеры осуществляется от общего трансмиссионного вала, приводимого в действие электродвигателем. Гирлянды со шлифшкуркой движутся по сушильной камере транспортером, возвратно-поступательное движение которого обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом от трансмиссионного вала через конический редуктор, цепную передачу и двухступенчатую зубчатую пару;

намотка высушенной шлифовальной шкурки, производится рабочей стороной вверх на намоточном станке, состоящем из станины, деревянных приводных барабанов, двух стальных валов, намоточного и стального разъемного барабанов эстакады с направляющими щитками и привода;

маркировка, транспортировка рулонов готовой продукции;

хранение шлифшкурки, производится в помещении в штабелях, но не более чем в пять рядов по высоте на поддонах. Шлифшкурка рассортировывается по видам абразивного материала и зернистости, а также видам бумаги-основы.

8.3. Технология производства неводостойкой шлифовальной шкурки на тканевой основе

Технологическая схема производства неводостойкой шлифовальной шкурки на тканевой основе приведена на рис. 8.5.

8.3.1. Подготовка исходных материалов

Подготовка шлифовальных материалов производится по технологии, приведенной в разд. 8.2.1.

Подготовка неводостойкой тканевой основы производится на поточно-механизированной линии фирмы "Брюкнер" (Германия) и включает в себя следующие операции:

приготовление красящих, грунтовальных и аппретирующих композиций [423];

размотка и накопление ткани, опалка, окраска, растяжение ткани;

грунтовка рабочей и нерабочей сторон ткани, аппретирование рабочей и нерабочей сторон ткани, намотка и хранение.

Приготовление красильных, грунтовальных и аппретирующих составов

Красильный раствор приготовляется в чугунном эмалированном смесителе с паровым обогревом. В смеситель через мерник заливается вода с температурой 60–70 °С, засыпается расчетное количество красителя в соответствии с рецептурой, и производится смешивание раствора при обогреве и постоянном перемешивании. Раствор доводится до кипения и кипятится в течение 10 мин, затем обогрев отключается, и в смеситель добавляется вода с температурой 60–70 °С и смачиватель. При этом раствор перемешивается в течение 5–10 мин. В смесителе устанавливается и поддерживается рабочая температура красильного раствора 65 °С. Готовый раствор из смесителя по трубопроводу подается в красильную машину. Рецептура рабочих композиций красильных растворов, грунтовальных и аппретирующих составов представлена в табл. 8.8.

Приготовление 40 %-ного раствора мездрового клея осуществляется в смесителе с рамной мешалкой и водяной рубашкой. В смеситель через мерник заливается вода с температурой 40–45 °С; включается мешалка, и из кюбеля слабой струйкой засыпается мездровый клей. После окончания загрузки компонентов включается обогрев и температура воды в водяной рубашке смесителя доводится до 90 °С. Расплавление клея производится в течение 30–40 мин при непрерывном его перемешивании. Температура клея должна быть 71–75 °С.

Приготовление грунтовального состава для рабочей и нерабочей сторон ткани производится в горизонтальном ленточном смесителе. В смеситель через мерник заливается холодная вода и загружается крахмал, а затем декстрин в соответствии с рецептурой (табл. 8.8), и подается острый пар, и состав при непрерывном перемешивании подогревается до загустения при температуре 78–80 °С и получения однородной смеси, после чего пар отключается. Затем в смеситель загружается 4 %-ный раствор мездрового клея, и смесь перемешивается в течение 5–10 мин. Посредством лопастей мешалки готовый состав подается в обогреваемый бак,

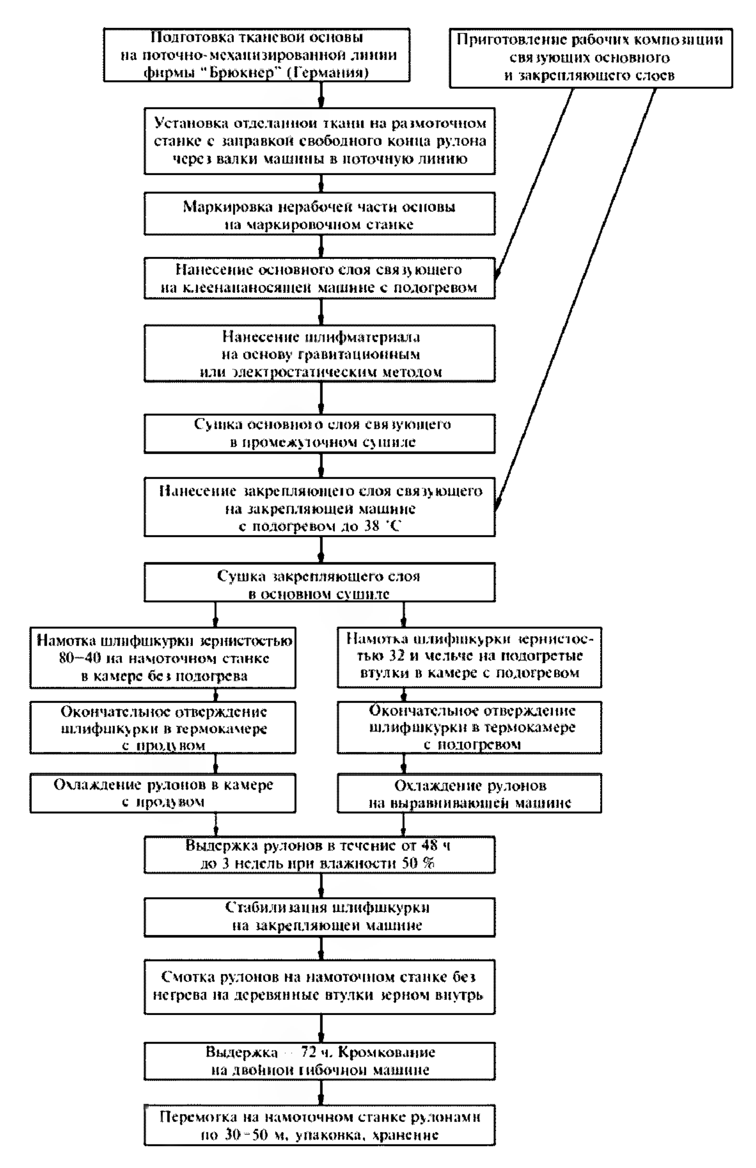


Рис. 8.5. Технологическая схема производства неводостойкой шлифовальной шкурки на тканевой основе

Таблица 8.8

Рецептура рабочих композиций красильных растворов, грунтовальных и аппретирующих составов

Наименование раствора	Состав грунтовальных и аппретирующих растворов, мас. %
Красильный раствор	Краситель 0,35 Вода 99,63
Грунтовальный раствор для нерабочей стороны ткани	40 %-ный раствор мездрового клея 22,20 Крахмал гидролизованный 29,00 Крахмал кукурузный 3,26 Декстрин 2,74 Вода 43,80
Грунтовальный раствор для рабочей стороны ткани	40 %-ный раствор мездрового клея 10,00 Крахмал гидролизованный 18,00 Декстрин 5,74 Вода 66,25
Аппретирующий раствор для нерабочей стороны ткани	Мездровый клей 18,7 40 %-ный раствор декстрина 15,8 Вода 65,3
Аппретирующий раствор для рабочей стороны ткани	Мездровый клей 23,4 40 %-ный раствор декстрина 16,0 Вода 60,0

Примечание. Рецептура рабочих композиций приведена для ткани саржи средней № 2.

в котором поддерживается рабочая температура. Из бака грунтовальный состав перекачивается насосом в ванну грунтовальной машины.

Приготовление оппретирующего состава для рабочей и нерабочей сторон ткани производится аналогично приготовлению грунтовального состава. Рецептура рабочих композиций приведена в табл. 8.8 (для ткани саржи средней № 2).

Определение вязкости аппретирующего состава производится вискозиметром Брукфельда.

Перемотка ткани из кип в рулоны и намотка по 700–1000 пог. м производится на перемоточной (накатной) машине, установленной в складском помещении, и включает в себя укладку кип ткани, заправку конца ткани через накатную машину, сшивку ткани на швейной машине оверлоковочным швом.

Приготовление рабочих композиций связующего

Приготовление рабочей композиции для нанесения на ткань основного слоя связующего производится в смесителях, снабженных рубашкой, в которую подается пар или вода. После подачи горячей воды в рубашку смесителя и нагрева ее до 90 °С в смеситель из дозатора подается вода с температурой 40–60 °С. При вращающейся мешалке и непрерывной подаче воды в смеситель загружается мездровый клей. Рецептура рабочих композиций для приготовления основного и закрепляющего слоев связующего в зависимости от зернистости приведена в табл. 8.9. После загрузки клея добавляются упрочняющая добавка

Таблица 8.9

Рецептура рабочих композиций для приготовления основного и закрепляющего слоев связующего в зависимости от зернистости

Наименование компонента	Зернистость, %				
	25	16	12	10	8
Рецептура основного слоя связующего					
Мездровый клей	28,0	27,8	27,6	27,6	42,7
Вода	40,3	40,7	41,1	41,1	48,5
Оксид железа Fe_2O_3	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Упрочняющая добавка (карбонат кальция)	28,0	27,8	27,8	27,6	–
Увлажняющая добавка	–	–	–	–	4,9
Поверхностно-активное вещество	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Рецептура закрепляющего слоя связующего					
Фенолформальдегидная смола марки СФЖ-091	45,0	52,2	52,2	52,2	47,0
Упрочняющая добавка (карбонат кальция)	50,7	43,5	43,5	14,3	14,3
Увлажняющая добавка	–	–	–	–	4,6
Оксид железа Fe_2O_3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,1

и смачиватели. Смесь перемешивается до расплавления клея и до равномерного распределения упрочняющей добавки и смачивателя. Температура рабочей композиции 71–75 °С.

Приготовление рабочей композиции для закрепляющего слоя связующего производится в смесителе. Смола или смесь смол перемешивается при подаче 50–60 % воды, затем при перемешивании в смеситель вводится упрочняющая добавка, добавляется раствор красителя, после чего смесь тщательно перемешивается, а затем проверяется его вязкость. Для достижения необходимой вязкости добавляется остальное количество воды и тщательно перемешивается, после чего при перемешивании добавляется смачиватель и поверхностно-активные вещества.

Приготовление фенолформальдегидных смол

Процесс синтеза смол осуществляется в реакторах, снабженных двухсекционной рубашкой для обогрева и охлаждения, рамной мешалкой, а также необходимыми приборами контроля температуры и давления.

Процесс синтеза смол состоит из дозировки сырья, загрузки сырья в реактор (в несколько стадий), из подъема температуры, поликонденсации, отбора проб смолы, сушки смолы, охлаждения смолы в реакторе и из разлива в бочки.

Пример рецептуры сырья для варки смолы марки СФЖ-91, мас. доля: фенол синтетический — 100; формалин в пересчете на формальдегид — 66,4 (первая порция в начале загрузки — 33,2, вторая порция в начале кипения — 33,2); едкий натр — 3; аммиачная вода — 1,04 и глицерин — 15,5.

По окончании загрузки первой порции сырья производится подогрев смеси до определенной температуры, затем подъем температуры осуществляется за счет выделения тепла экзотермической реакции, идущей в процессе приготовления смолы. Для поддержания необходимого температурного режима в рубашку реактора на стадии поликонденсации подается пар или вода.

В процессе поликонденсации отбираются пробы смолы и контролируются показатели. При достижении требуемых параметров поликонденсация считается законченной и осуществляется сушка смолы. В процессе сушки смолы отгоняется надсмольная вода, которая конденсируется в холодильнике, собирается в вакуум-сборнике, а затем насосом направляется на специальную установку. Количество надсмольной воды, температура и необходимый вакуум различны для каждой из марок смол.

Окончание процесса сушки определяется по показателям смолы на основе лабораторных анализов проб, отобранных из реактора. Готовая смола охлаждается в реакторе при температуре 35–40 °С в контакте с охлаждаемой водой рубашкой аппарата и затем через металлическую сетку разливается в бочки. Хранение смол осуществляется в холодильнике.

Подготовка тканевых основ производится на абразивных заводах, изготавливающих шлифовальную шкурку. Технологический процесс осуществляется на поточных линиях и включает в себя опалку, окраску, грунтовку рабочей и нерабочей сторон ткани, аппретирование рабочей и нерабочей сторон ткани, продольную и поперечную вытяжку, сушку, обрезку кромок и т. п.

8.3.2. Технология и оборудование для изготовления шлифшкурки

На рис. 8.6 изображена технологическая схема поточной линии подготовки ткани для неводостойкой шлифовальной шкурки, согласно которой рулон ткани на съемном размоточном валу с помощью погрузчика устанавливают на размоточную машину *8*, снабженную свободно вращающимися роликами, на которые и устанавливается размоточный вал с рулоном и фиксируется. В целях исключения остановки линии при замене размотанного рулона предусмотрено место для резервного рулона, а линия снабжена накопителем ткани *7* и машиной *9* для сшивки концов рулонов, заканчивающегося и вновь устанавливаемого. В это время расходуется запас ткани в накопителе *7*, который выполнен в виде корыта, в котором ткань укладывается свободно лежащими фестонами, и снабжен тянущими валами *16*, имеющими индивидуальный привод и установленными на каретке, перемещающейся возвратно-поступательно в горизонтальном направлении, а также натяжным устройством *17*. Образование фестонов ткани в накопителе осуществляется за счет того, что скорость размотки, задаваемая тянущими валами, несколько выше, чем скорость протяжки ткани по всем остальным машинам, входящим в состав поточной линии.

Из накопителя ткань поступает в установку для опалки *6*, производящую удаление имеющегося на поверхности ткани ворса открытым пламенем газовых горелок, установленных в камере. Камера снабжена автоматическими блокирующими устройствами, отводящими газовые горелки от ткани при внезапной остановке линии, что исключает загорание ткани. После опалки ткань

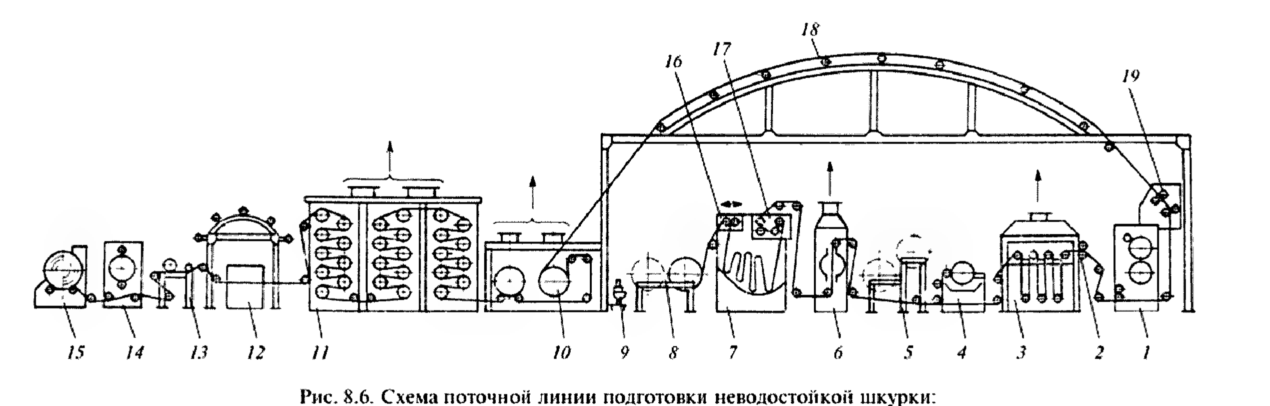


Рис. 8.6. Схема поточной линии подготовки неводостойкой шкурки:

1 — аппретирующая машина; *2* — отжимное устройство; *3* — красильная машина; *4* — грунтовальная машина; *5* — размоточное устройство; *6* — установка для опалки; *7* — накопитель ткани; *8* — размоточная машина; *9* — машина для сшивки ткани; *10* — сушильные барабаны; *11* — сушильная колонка; *12* — ширильная машина; *13* — обрезное устройство для кромок; *14* — каландры; *15* — намоточная машина; *16* — тянущие валы; *17* — натяжное устройство; *18* — роликовый мостик; *19* — натяжное устройство

подвергают окрашиванию в красильной машине *3*, имеющей обогреваемую ванну, в которой находится краситель с двумя рядами параллельно расположенных валов.

Ткань, направляемая этими валами, окрашивается путем многократного прохождения через краситель и отжимается с помощью устройства *2*, выполненного в виде двух параллельно расположенных валов с регулируемым зазором между ними. Расход красильного раствора составляет 84–123 г/м^2.

По окончании окраски влажная ткань через натяжное устройство *19*, снабженное двумя парами валов, оборудованных тормозами, и через роликовый мостик *18*, представляющий собой раму с закрепленными на ней свободно вращающимися валами, подается на сушильные барабаны *10*. Проходя путь от натяжного устройства до сушильных барабанов, ткань получает продольную вытяжку. Подогрев сушильных барабанов осуществляется перегретым паром с давлением 0,06–0,08 МПа, регулируемым специальными клапанами. Дополнительная сушка ткани может осуществляться в сушильной колонке *11*, включающей систему обогреваемых валов паром под давлением 0,06–0,08 МПа.

Высушенная ткань подается на ширительную машину *12*, где происходит операция поперечной вытяжки ткани с помощью автоматических захватов, растягивающих ткань. Поперечная вытяжка может достигать 10 % от первоначальной ширины ткани. Из ширительной машины ткань подается в намоточную машину *15*, имеющую два приводных вала, вращающих свободно лежащий на них рулон наматываемой ткани.

На этом первый этап подготовки ткани считается законченным. Вторым этапом подготовки тканевой основы является ее грунтовка, которая производится на грунтовальной машине *4*.

Рулон ткани, подвергнутый опалке и вытяжке ткани, устанавливается на размоточную машину *8* и через накопитель *7*, минуя установку для опалки *6*, подается на грунтовальную машину *4*, снабженную барабаном, погружаемым в обогреваемую ванну, наполненную составом для грунтовки, который наносится на одну из сторон ткани путем окунания ее в ванну. Расход грунтовального состава 80–90 г/м^2. Из грунтовальной машины ткань, минуя красильную камеру *3* и натяжное устройство *19*, через роликовый мостик *18* поступает на сушильные барабаны *10* и далее на сушильную колонку *11* и, минуя ширительную машину *12*, — на намоточную машину *15*.

На третьем этапе подготовки неводостойкой ткани производится аппретирование ее нерабочей и рабочей сторон на аппретирующей машине *1*, имеющей два горизонтальных вала, расположенных один над другим с самостоятельными приводами. Нижний вал является наносящим валом и покрыт резиновой рубашкой, нижней своей частью погруженной в аппрет, находящийся в обогреваемой ванне. Расстояние между валами регулируется путем перемещения верхнего вала. Зазор между валами должен быть равен толщине ткани плюс толщина наносимого слоя аппрета, расход которого составляет 90–100 г/м^2.

Четвертым этапом подготовки неводостойкой ткани является аппретирование ее рабочей стороны, осуществляемое аналогично предыдущему этапу с добавлением двух операций: обрезка кромок и каландрирование, которые выполняются перед намоткой.

Обрезка кромок производится на устройстве *13* специально заточенными дисковыми ножами, а каландрирование — на каландрах *14*, снабженных тремя валками — двух стальных и одного (среднего) текстильного для выравнивания поверхности ткани при изготовлении мелкозернистой шлифшкурки. Давление на каландрах для изготовления шлифшкурки зернистостью 16—10 должно быть 2,24 МПа, для зернистостей 8 и мельче — 4,75 МПа.

После осуществления четвертого этапа подготовка неводостойкой ткани считается законченной. Следует отметить наличие в рассматриваемой линии размоточного устройства *5*, позволяющего осуществлять на этой линии производство комбинированной основы.

В настоящее время в России и других странах СНГ работают несколько линий по производству шлифовальной шкурки. Несмотря на то что конструктивно машины, входящие в различные линии, существенно отличаются друг от друга, принципиальные схемы линий практически одинаковы.

На рис. 8.7 представлена схема одной из наиболее современных линий производства шлифовальной шкурки. Рулон предварительно подготовленной основы устанавливается на размоточную машину *12*. Особенностью этой машины является наличие двух размоточных валов и устройства для быстрого сращивания рулонов. Каждый из размоточных валов оборудован быстродействующим зажимом, предусмотренным для фиксации устанавливаемого рулона, и дисковым пневматическим тормозом с регулируемым тормозным моментом для создания необходимого натяжения разматываемой основы.

Наличие этих устройств дает возможность, не останавливая машины, производить сращивание конца размотанного рулона основы с началом нового рулона и устанавливать новый рулон взамен размотанного. С размоточной машины основа подается на печатную машину *13*, предназначенную для нанесения маркировки на нерабочую сторону основы. Маркировка наносится печатным валом, выполненным в виде шлицевого вала, в пазы которого вставлены резиновые клише. На клише постоянно тонким слоем наносится краска при помощи растрового вала, находящегося в контакте с красящим резиновым валиком, погруженным в ванну с красителем. Толщина наносимого слоя краски может быть изменена за счет регулирования зазоров между всеми валами. Далее замаркированная основа поступает на клеенаносящую машину *11*. Здесь на рабочую сторону основы наносится основной слой связующего, который служит для закрепления зерна на основе. Машина *10* гравитационной насыпки зерна и машина *9* для электростатического нанесения зерна работают попеременно в зависимости от крупности наносимого на основу зерна. С одной из машин основа с помощью тянущего вакуумного барабана *8* подается в предварительную сушильную камеру *7*. Эта камера снабжена петлеобразователем, с помощью которого основа собирается в виде гирлянд, подвешенных на вешалах. Вешала, перемещаясь по сушильной камере, транспортируют гирлянды шлифовальной шкурки и находятся в камере такое время, которое необходимо для полимеризации связующего. Из камеры *7* петли разбираются, шлифовальная шкурка проходит через специальное тормозное устройство *6*, и на нее со стороны зерна наносится еще один слой связующего, так называемый закрепляющий слой. Эта операция производится на машине для нанесения

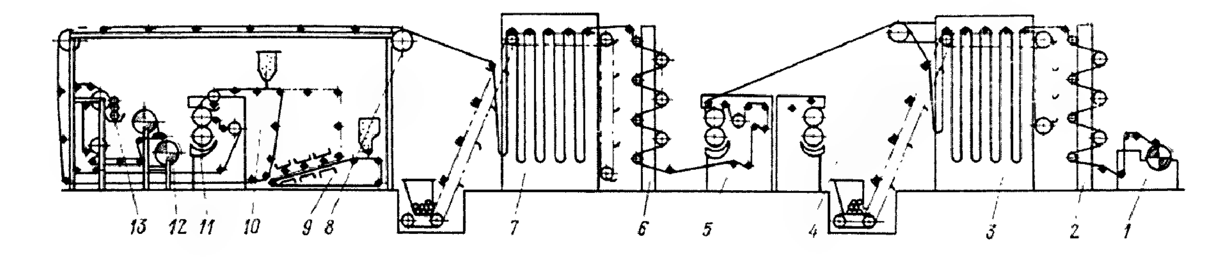


Рис. 8.7. Схема поточной линии производства шлифовальной шкурки:

1 — намоточный станок; *2* — тормозное устройство; *3* — сушильная камера; *4* — вакуумный тянущий барабан; *5* — машина для нанесения закрепляющего слоя; *6* — тормозное устройство; *7* — предварительная сушильная камера; *8* — тянущий вакуумный барабан; *9* — машина для электростатического нанесения зерна; *10* — машина гравитационной насыпки зерна; *11* — клеенаносящая машина; *12* — размоточная машина; *13* — печатная машина

закрепляющего слоя *5*. Затем с помощью вакуумного тянущего барабана *4* шлифовальная шкурка подается во вторую сушильную камеру *3*. Здесь она в виде гирлянд перемещается на веналах, и за время ее перемещения по сушилу происходит полимеризация закрепляющего слоя связующего. Выйдя из сушильной камеры *3* и пройдя тормозное устройство *2*, шлифовальная шкурка на намоточном станке *1* наматывается в рулоны.

Но на этом процесс изготовления шлифовальной шкурки не заканчивается. В целях придания ей необходимого качества проводится ряд операций: термическая обработка, исправление коробления и т. д. Однако все эти операции проводятся на машинах и устройствах, не входящих в линию. Более подробно устройство основных машин рассмотрим ниже.

Нанесение основного слоя связующего, как и второго, закрепляющего, производится на клееналосящих машинах. Технологические режимы нанесения связующего представлены в табл. 8.10.

Клееналосящие машины по своему назначению делятся на два типа: машины для нанесения основного слоя связующего и машины для нанесения закрепляющего слоя. На рис. 8.8 представлена схема двухвалковой клееналосящей машины, предназначенной для нанесения основного слоя связующего.

Таблица 8.10

Технологические режимы нанесения основного и закрепляющего слоев связующего в зависимости от зернистости абразивного материала

Технологические параметры	Зернистость			
	25	16	12	10
Основной слой связующего				
Температура в ванне клееналосящей машины, °С	71±5	71±5	71±5	71±5
Скорость ротора при измерении вязкости по Бункфилду, м/мин	2/30	2/30	2/30	2/30
Вязкость при t = 38 °С				
$Сп_{min}$	2200	1800	1450	1200
$Сп_{max}$	2400	2000	1550	1300
Скорость полотна основы, м/мин	37	43	43	43
Номера сит на расходной емкости, мкм	850	850	850	850
Закрепляющий слой связующего				
Температура в ванне клееналосящей машины, °С	38±1	38±1	38±1	38±1
Скорость ротора при измерении вязкости по Бункфилду, м/мин	1/30	1/30	1/30	1/30
Вязкость при t = 38 °С				
$Сп_{min}$	575	350	250	150
$Сп_{max}$	625	400	300	200
Скорость полотна основы, м/мин	37	43	43	43
Номера сит на расходной емкости, мкм	600	600	600	600

Примечания: 1. Основной слой связующего выполняется на верхнем стальном валу и нижнем обрезиненном валу твердостью резины по пластомеру 50±5.

2. Закрепляющий слой связующего выполняется на верхнем стальном валу и нижнем обрезиненном валу твердостью резины по пластомеру 85±10.

Машина включает станину *1*, состоящую из двух сварных боковых стоек коробчатой формы, соединенных поперечными стяжками. Станина несет на себе все узлы машины. Основной узел — клеенаносящий механизм — состоит из прижимного вала *20*, клеенаносящего вала *22* и клеевой ванны *23*.

В качестве прижимного вала применяется полый барабан из отбеленного чугуна со шлифованной рабочей поверхностью. Его опоры стационарно закреплены на станине. Клеенаносящий вал выполнен обрезиненным. Его опоры смонтированы на двух работающих независимо друг от друга откидных рычагах *24*. Рычаги шарнирно соединены со штоками пневмоцилиндров *6*, которые прижимают их к регулируемым по высоте винтам *5* редукторов *3*. С помощью электродвигателей производится осевое перемещение винтов *5*. При этом изменяется положение рычагов *24*, а вместе с ними и клеенаносящего вала. Таким образом

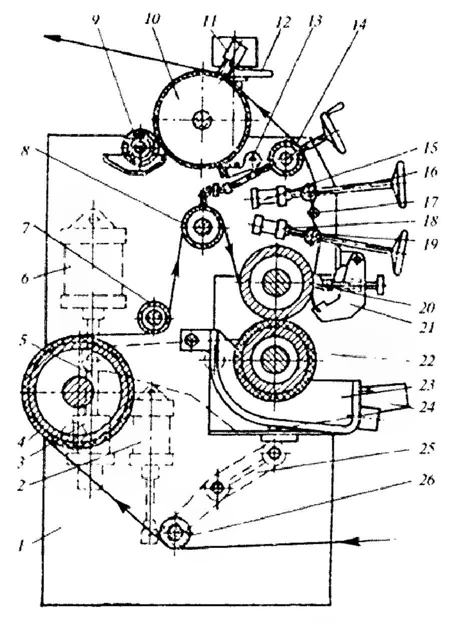


Рис. 8.8. Клеенаносящая машина:

1 – станина; *2* – пневмоцилиндр; *3* – редуктор; *4* – тормозной вал; *5* – винт; *6* – пневмоцилиндр; *7* – прижимной вал; *8* – выравнивающий вал; *9* – вал; *10* – вал щеточного устройства; *11* – щетка; *12* – маховик; *13* – "дворник"; *14* – выравнивающий вал; *15* – пневмоцилиндр; *16* – сопряженный вал; *17* – выглаживающий вал; *18* – пневмоцилиндр; *19* – сопряженный вал; *20* – прижимной вал; *21* – пружинная пластина; *22* – клеенаносящий вал; *23* – клеевая ванна; *24*, *25* – рычаги; *26* – направляющие валы

производится регулирование зазора между клеенаносящим и прижимным валами, что важно при регулировании толщины наносимого слоя связующего.

Следует отметить, что при помощи пневмоцилиндров *6* может быть осуществлен быстрый отвод клеенаносящего вала вместе с клеевой ванной *23*. Клеевая ванна *23* расположена так, что клеенаносящий вал нижней своей частью погружен в находящийся в ней клей. Ванна изготовлена из нержавеющей стали и имеет двойную рубашку, куда подается пар для обогрева. С помощью пневмоцилиндров *2* и рычагов *25* ванна может быть быстро опущена, что необходимо для удобства ее чистки и замены клеенаносящего вала. Кроме клеенаносящего механизма машина снабжена рядом устройств. Так, в целях улучшения равномерности толщины связующего на машине установлен выглаживающий механизм, состоящий из выглаживающего вала *17* и двух сопряженных валов *16* и *19*. Выглаживающий вал вращается в направлении, противоположном направлению движения ленты. Его привод регулируется бесступенчато, и в зависимости от скорости получают различные результаты разравнивания клея. Два сопряженных вала (регулируемые) служат для измерения положения основы относительно выглаживающего вала. При необходимости выглаживающее устройство может быть отключено. Для этого посредством пневмоцилиндров *15* и *18* отводятся сопряженные валы.

С аналогичной целью машина снабжена щеточным устройством. Щеточное устройство применяется при нанесении мездрового клея. Оно включает вал *10* и щетку *11*. Щетка закреплена в специальном передаточном механизме, который передает ее осциллирующее перемещение вдоль оси вала. В случае необходимости щетка может быть быстро отведена с помощью пневмоцилиндра. Возможен поворот щетки. Справа и слева от щеточного устройства расположены маховики *12*, с помощью которых можно регулировать усилие прижима щетки к основе. Вследствие осциллирующего движения щетки клей попадает на поверхность вала. Для его чистки предусмотрены вал *9*, вращающийся в лотке с водой, и "дворник" *13*. В некоторых случаях для разравнивания наносимого связующего применяется устройство *21* с ракелем в виде пружинной пластины. Ракельное устройство может быть быстро отведено при помощи специальной рукоятки.

Для подвода и направления основы по всем узлам машины, выполняющим технологические операции, служат направляющие валы *26*. В целях попадания клея на ее нерабочую сторону машина снабжена тормозным валом *4*. Он представляет собой полый барабан, рабочая поверхность которого оклеена рифленой резиной. К одному из торцев барабана прикреплен тормозной диск, расположенный между фрикционными накладками пневматического тормоза. Основа, проходя через тормозной вал, заставляет его вращаться за счет сил трения, возникающих при прохождении основы по его поверхности. Силы трения направлены в сторону, противоположную направлению движения основы, и определяют ее натяжение. Поэтому при изменении тормозного момента на валу *4* изменяется натяжение основы, что заставляет более или менее плотно облегать прижимной вал *7*.

В целях предотвращения сбега основы в поперечном направлении перед клеенаносящим валом установлены выравнивающие валы *8* и *14*. Он характерен тем, что одна из его опор стационарно закреплена на станине, а вторая установлена на подвижных салазках и имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении. Таким образом, вал регулируется односторонне.

Каждый из приводимых валов машины имеет самостоятельный привод. Все они смонтированы на отдельной станине, установленной рядом с машиной. Приводы соединены с приводимыми ими устройствами посредством карданных валов. Скорость приводов задается с общего пульта управления линией по изготовлению шлифовальной шкурки.

Клеенаносящие машины, предназначенные для нанесения закрепляющего слоя связующего, имеют аналогичную конструкцию. Однако следует отметить, что они гораздо проще, так как из них исключены ракельное, выглаживающее, щеточное и увлажняющее устройства.

При производстве шлифовальной шкурки применяют два метода нанесения зерна на основу: гравитационный и электростатический. Применение каждого из этих методов обусловливается в зависимости от зернистости наносимого шлифматериала: для крупных номеров (зернистости 80–40) применяется гравитационный метод, а для мелких (25–M28 и мельче) — электростатический. Режимы нанесения шлифматериалов в зависимости от зернистости представлены в табл. 8.11 и 8.12.

Таблица 8.11

Режимы нанесения шлифматериала зернистостью 40–80 гравитационным способом

Технологические режимы	Зернистость шлифматериала			
	40	50	63	80
Расход зерна на основу, г/м^2	500	560	680	760
Скорость насыпки зерна, кг/мин/30 см ширины	2,4	2,7	3,2	3,6
Скорость валов при подаче зерна, м/мин	7,5	7,5	7,5	7,5
Сита, мм	1,7 2,36	1,7 2,36	1,7 2,36	1,7 2,36
Отбойный валик для удаления зерна с транспортерной ленты	Средняя			

Таблица 8.12

Режимы нанесения шлифматериала зернистостью 25–M28 электростатическим способом

Технологические режимы нанесения шлифматериала	Показатель
Относительная влажность при 32 °С, %	50–60
Напряжение, кВт	40–25
Количество ступеней, шт.	1
Частота, Гц	10
Число электродов	12–8
Расстояние между электродами, мм: на входе на выходе	 16 23,12
Скорость транспортерной ленты, мм/мин	120–250
Количество зерна на транспортерной ленте, г/100 см^2	40–32
Возврат зерна, % (г/мин/5 см)	10–12(50–150)

Для машин, работающих по методу гравитационной насыпки, важным является обеспечение подачи зерна на основу равномерным слоем под действием своего веса. На рис. 8.9 приведена схема машины для гравитационной насыпки зерна, согласно которой абразивное зерно, находящееся в бункере *7*, подается из этого бункера через вращающийся вал *6* на основу *14*. Во многих машинах этот вал выполнен рифленым. Он приводится в действие от бесступенчатого регулирующего привода. При изменении частоты вращения вала *6* изменяется количество подаваемого им зерна. Направляющая линейка *8* также регулирует количество падающего зерна. Это осуществляется путем изменения зазора между валом *6* и линейкой *8* при повороте линейки вокруг своей оси.

Дополнительная разравнивающая планка *11* разравнивает падающее зерно и обеспечивает равномерную насыпку. Регулирование направляющей линейки *8* и разравнивающей планки *11* производится микрометрическими винтами.

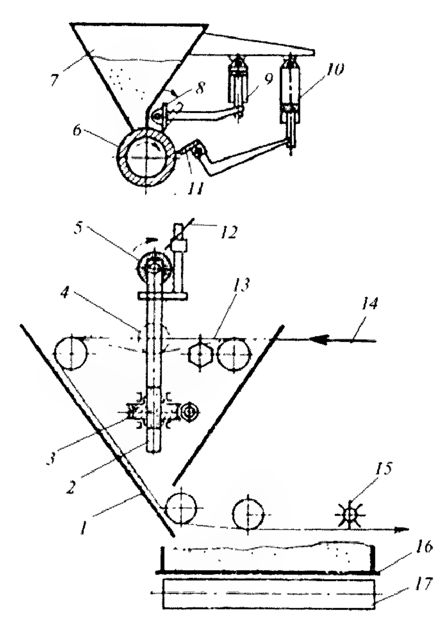


Рис. 8.9. Схема машины для гравитационной насыпки зерна:

1 — приемник; *2* — винт; *3* — червячная передача; *4* — гладкий вал; *5* — щетка, *6* — вращающийся вал, *7* — бункер, *8* — направляющая линейка; *9*, *10* — пневмоцилиндры; *11* — планка; *12* — стеклянный экран; *13* — шестигранный вал; *14* — основа; *15* — отбойник; *16* — транспортерная лента; *17* — поперечный транспортер

Быстрый отвод и подвод линейки *8* и планки *11* производятся пневмоцилиндрами *9* и *10*.

Зерно, упавшее с вала *6*, попадает на стеклянный экран *12*, который можно устанавливать в различных положениях вращающейся щетки *5*. Экран *12* и щетка *5* способствуют равномерному распределению зерна. Их положение относительно основы *14* может быть изменено посредством червячной передачи *3*, червячное колесо которой служит гайкой для винта *2*, перемещающегося в осевом направлении. Под основой иногда в качестве отстойника устанавливают шестигранный вал *13*, который при вращении заставляет вибрировать основу *14*, благодаря чему достигается большая равномерность распределения зерна при попадании его на вибрирующую основу.

В ряде машин вместо щетки *5* устанавливают гладкий вал и помещают его в положение *4*. В этом случае при прохождении основы зерно вдавливается валом в слой связующего, после чего основа меняет направление движения, а избыточное зерно попадает в приемник *1*. Прилипшее к основе зерно отбивается отбойником *15*. Затем зерно из приемника *1* и от отбойника *15* ссыпается на транспортерную ленту *16* поперечного транспортера *17*, подающего зерно в ковшовый элеватор, который возвращает зерно в бункер *7*.

Существенным недостатком таких машин является то, что зерно падает на основу произвольно, без ориентации его в выгодном для процесса резания положении. Этот недостаток устранен на машинах для электростатического нанесения зерна, а поэтому метод электростатического нанесения шлифматериала на основу является более прогрессивным [424, 425].

Если поместить абразивное зерно в электростатическое поле, образованное двумя электродами, вблизи положительно заряженного электрода, то на поверхности зерна начнут накапливаться положительные заряды. При взаимодействии этих зарядов с отрицательно заряженным электродом возникает электростатическая сила, под действием которой зерно притягивается к нему. При перемещении зерна в электростатическом поле, благодаря различной концентрации зарядов на его поверхности, оно ориентируется, разворачиваясь своей длиной перпендикулярно к основе, что значительно повышает режущую способность шлифовальной шкурки. К недостаткам этого метода следует отнести неравномерность нанесения микропорошков в силу их большого поверхностного сцепления, а также зерна крупнее 800 мкм, обладающего большой массой, отрицательно влияющей на равномерность распределения абразивного зерна на основе шлифшкурки.

Основными узлами машины ориентированного нанесения зерна (рис. 8.10) являются верхний и нижний электроды *15* и *3*. Питание на электроды подается от генератора высокого напряжения. Каждый из электродов имеет каркас с закрепленными на нем алюминиевыми блоками *2* и *16* с тщательно обработанными рабочими поверхностями.

Верхний электрод снабжен роликами *17*, служащими для направления основы *12* с нанесенным на нее клеем. Подача зерна в рабочую зону и вывод излишков зерна из нее осуществляются бесконечной транспортерной лентой *7*, имеющей самостоятельный привод и устройство для натяжения *10*. Транспортерная лента выполнена из изоляционного материала. Равномерную насыпку слоя зерна на транспортерную ленту обеспечивает питатель *11*. Постоянная

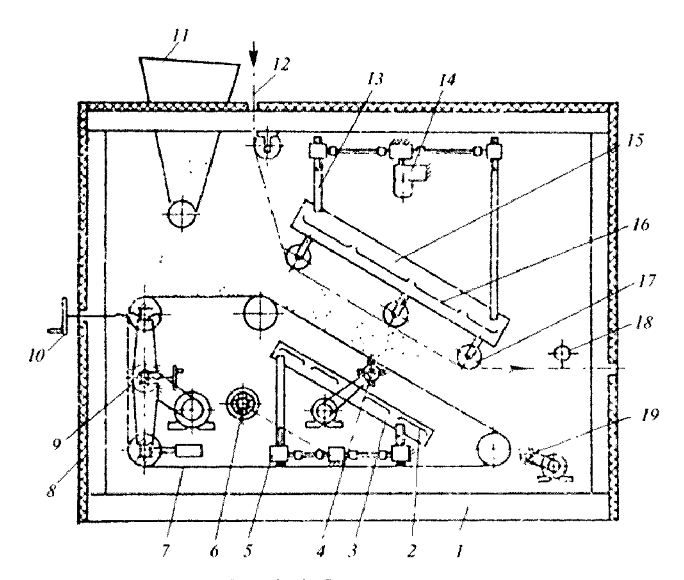


Рис. 8.10. Схема машины для электростатического нанесения зерна:

1 — каркас; *2* — алюминиевые блоки; *3* — нижний электрод; *4* — отбойник; *5* — винт; *6* — маховик; *7* — транспортерная лента; *8* — текстолитовые листы; *9*, *19* — вращающиеся щетки; *10* — устройство для натяжения; *11* — питатель; *12* — основа; *13* — винт; *14* — редуктор; *15* — верхний электрод; *16* — алюминиевые блоки; *17* — ролики; *18* — отбойный вал

очистка транспортерной ленты осуществляется капроновыми вращающимися щетками *9* и *19*. Для равномерного нанесения микропорошков, а также крупного зерна транспортерная лента должна вибрировать при помощи отбойника *4*, выполненного в виде ребристого вала. В целях регулирования расстояния между электродами рама нижнего электрода установлена на винтах *5*, приводимых в действие редуктором посредством маховика *6* и перемещающих электрод в вертикальном направлении. Рама верхнего электрода закреплена на аналогичных винтах *13*, приводимых в действие редуктором *14*. Благодаря этому имеется возможность регулировать расстояние между основой и слоем зерна, находящегося на транспортерной ленте. Излишки зерна, нанесенного на основу, удаляются отбойным валом *18*. Все узлы и механизмы машины закреплены в общем каркасе сварной конструкции *1*, закрываемой текстолитовыми листами *8*. Контроль слоя клея и зерна при изготовлении шлифовальной шкурки определяется различными методами [426, 427].

После нанесения шлифовальную шкурку сушат на специальном конвейере, который является устройством, определяющим производительность всей линии производства шлифовальной шкурки. Операция сушки значительно продолжительнее всех других операций, выполняемых на линии, и в зависимости

от вида связующих может достигать нескольких часов. Скорость прохождения основы шлифовальной шкурки на современных линиях достигает 80 м/мин и более [428, 429].

Процесс сушки шлифовальной шкурки производится в сушильной камере (см. рис. 8.7, *3* и *7*), состоящей из нескольких зон с различными температурными режимами — предварительной сушкой, основной сушкой и увлажнением шлифшкурки перед намоткой. Сушка осуществляется теплым воздухом, подаваемым в камеры через калориферы. Сушка основного слоя связующего производится в промежуточном сушиле по режимам, приведенным в табл. 8.13, а сушка закрепляющего слоя связующего — в основном сушиле по режимам, приведенным в табл. 8.14; температурные режимы сушки и относительная влажность по зонам в зависимости от зернистости указаны в табл. 8.15.

Сушильная камера представляет собой сборный каркас, выполненный из профильного проката. Стенки и потолок каркаса обшиты специальными блоками, представляющими собой коробки, изготовленные из алюминиевых листов, внутренняя полость которых заполнена теплоизоляционным материалом. Стенки между блоками заполнены теплоизоляционным материалом и закрыты декоративным профилем. Заданная температура внутри сушильной камеры

Таблица 8.13

Режимы сушки шкурки с нанесенным основным слоем связующего в промежуточном сушиле

Режим сушки в промежуточном сушиле	Зона	
	1	2
Температура, °С: сухого термометра влажного термометра	 38 29	 38 29
Длина петель (гирлянды), м	6,5	6,5
Расстояние между петлями (вешалами), см	85	85
Время нахождение в сушиле, мин	30	30

Таблица 8.14

Режимы сушки шкурки с нанесенным закрепляющим слоем связующего в основном сушиле

Режим сушки в промежуточном сушиле	Зоны				
	1	2	3	4	5
Температура сухого термометра, °С	60	68	74	77	74
Температура влажного термометра, °С	28	29	31	32	33
Длина петли, м	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Расстояние между петлями (вешалами), см	35–51	35–51	35–51	35–51	35–51
Температура воздуховода, °С	63	71	77	79	85
Время сушки при скорости полотна 40 м/мин, мин	25	25	18	25	15

Таблица 8.15

Температурные режимы сушки шлифшкурки по зонам в зависимости от зернистости абразивного материала

Режим сушки	Зернистость	
	M40–12	16–50
Скорость линии, м/мин	45±5	35±5
Температура, °С, по зонам:		
I	25–30	25–30
II	25–30	25–30
III	30–40	35–45
IV	30–40	35–45
V	20–30	25–35
Относительная влажность, %, по зонам:		
I	70–90	70–90
II	70–90	70–90
III	50–70	50–70
IV	45–60	50–65
V	75–90	75–90

поддерживается при помощи специальных элементов автоматики, управляющей газовыми горелками. Сушильная камера снабжена системой приточно-вытяжной вентиляции, предназначенной для циркуляции горячего воздуха и удаления из камеры вредных летучих веществ, образующихся в процессе сушки шлифовальной шкурки. Следует отметить, что вредные летучие вещества сжигаются в инсинераторе (установке для обезжиривания путем сжигания летучих веществ), а очищенный горячий воздух подается обратно в сушильную камеру.

В целях удобства обслуживания сушильная камера снабжена несколькими дверями и внутренней системой освещения, выполненной во взрывобезопасном исполнении. Операции подачи стержней в камеру, петлеобразования, транспортировки петель по сушилу, а также разбора петель и удаления стержней из камеры механизированы и осуществляются автоматически специально предназначенными механизмами, которые входят в состав сушильного конвейера.

Перед началом работы стержни укладываются в бункер стержнеукладчика. Дном этого бункера служит движущаяся транспортерная лента, постоянно подающая стержни в выходную горловину бункера. На выходной горловине бункера установлено отсекающее устройство, выпускающее каждый следующий стержень с одинаковыми интервалами времени от предыдущего, поддающегося регулированию. После прохождения отсекающего устройства стержень по лотку скатывается на цепь механизма подачи стержней. Скорость подачи стержней может быть отрегулирована частотой вращения двигателя постоянного тока.

Скорость транспортировки петель $v_п$ также регулируется. Необходимо заметить, что при подходе стержня к крайнему верхнему положению он становится опорой для шлифовальной шкурки, спускающейся от тянущего вакуум-

ного барабана со скоростью $v_{ш}$. Так как $v_{ш}$ значительно больше $v_{п}$, то шкурка начнет свободно провисать на участке между стержнем и тянущим барабаном, за счет чего эта петля будет увеличиваться до тех пор, пока следующий стержень не подхватит шлифовальную шкурку.

По выходе шлифовальной шкурки из сушильной камеры она, как правило, подается на тормозное устройство, скорость ее прохождения через которое должна равняться $v_{ш}$. При этом петли разбираются, а стержни освобождаются. Освободившиеся стержни с механизма транспортировки петель попадают на крюки-захваты механизма удаления стержней. С этого механизма стержни свободно падают в тележку. Периодически оператор должен осуществлять перегрузку стержней из тележки в бункер. Существуют сушильные конвейеры, в которых операция возврата стержней механизирована.

Время прохождения шлифовальной шкурки в сушильной камере определяется временем T, мин, полимеризации связующего. Оно зависит от вида связующего и задается технологическим процессом.

Зная длину сушильной камеры L, м, можно определить скорость перемещения механизма транспортировки петель $v_{п}$, и часовую производительность сушильного конвейера $Q_{с}$ соответственно по формулам

$$v_{п} = L/T \tag{8.1}$$

и

$$Q_{с} = v_{п} l_{м} 60, \tag{8.2}$$

где $l_{м}$ — количество шлифовальной шкурки, размещенной на 1 м длины сушильной камеры, м.

Часовая производительность, м/ч, остальных машин

$$Q_{л} = v_{ш} \cdot 60, \tag{8.3}$$

где $v_{ш}$ — скорость прохождения шлифовальной шкурки по остальным машинам линии, м/мин.

При условии равенства часовой производительности сушильного конвейера $Q_{с}$ и часовой производительности остальных машин линии $Q_{л}$ можно определить соотношение скоростей:

$$v_{п} l_{м} \cdot 60 = v_{ш} \cdot 60,$$

откуда

$$v_{п} = v_{ш}/l_{м}. \tag{8.4}$$

Подставив значение $v_{п}$ из (8.1) в (8.4), можно узнать количество шлифовальной шкурки, которое размещается на 1 м сушильной камеры:

$$\frac{L}{T} = \frac{V_{ш}}{l_{п}}; \quad L_{м} = \frac{V_{ш} T}{L}. \tag{8.5}$$

Количество петель на 1 м длины сушильной камеры

$$n = \frac{l}{S_{п}}, \tag{8.6}$$

где $S_{п}$ — шаг петель, или шаг между стержнями, находящимися на механизме транспортировки петель, м; l — количество шлифовальной шкурки в одной петле, м.

Эту же величину можно определить из простого геометрического расчета с известной долей допущения, поскольку петли имеют правильные и одинаковые геометрические формы, т. е.

$$l = (l_п - 2R_п)2 + 2\pi R_п = 2l_п - 4R_п + 2\pi R_п, \qquad (8.7)$$

где $l_п$ — длина петли, м; $R_п$ — радиус петли, м,

$$R_п = \frac{S_п}{4}. \qquad (8.8)$$

Подставив это значение в (8.7), получим

$$l = 2l_п - S_п + \frac{\pi S_п}{2} = 2l_п + \frac{\pi S_п}{2} - S_п =$$

$$= 2l_п + S_п\left(\frac{\pi}{2} - 1\right) = 2l_п + 0{,}57S_п. \qquad (8.9)$$

В этом случае количество $l_м$ шкурки в одной петле при условии, что петли имеют правильные и одинаковые геометрические формы можно представить как $l = l_м S_п = 2l_п + 0{,}57S_п$, преобразуя, получим $S_п(l_м - 0{,}57) = 2l_п$. Отсюда

$$S_п = \frac{2l_п}{l_м - 0{,}57L} = \frac{2l_п}{V_ш T / L - 0{,}57} = \frac{2l_п L}{V_ш T - 0{,}57L}. \qquad (8.10)$$

Шаг петель зависит от скорости подачи стержней $v_с$, м/мин, и скорости перемещения механизма транспортировки петель $v_п$, м/мин. Это соотношение можно определить выражением

$$\frac{S_п}{V_п} = \frac{S_с}{V_с}, \qquad (8.11)$$

где $S_с$ — шаг стержней на механизме подачи стержней, м.

Эта величина известная и постоянная для каждой конкретной линии.

Преобразуя соотношение (8.11), получим, что шаг петель, или шаг между стержнями, определяется выражением

$$S_п = S_с v_п / v_с. \qquad (8.12)$$

Приравняв это выражение уравнению (8.10), получим

$$V_с = \frac{S_с v_п (V_ш T - 0{,}57L)}{2l_п L}. \qquad (8.13)$$

Таким образом, получены все зависимости, необходимые для расчета настройки сушильного конвейера.

После прохождения основного сушила производится намотка шлифшкурки, обращенной нанесенным зерном внутрь, на стальные втулки диаметром 330 мм на намоточном станке без подогрева для зернистостей 80—40, а для зернистостей 32 и мельче — в камере с подогревом при температуре 110±1 °С на подогретые втулки.

Во время операции намотки в середину рулона помещается термопара для контроля температуры внутри рулона.

Рулоны шлифшкурки крупных номеров зернистости 80—50 для окончательного отверждения помещаются в термокамеру с продувом. Время отверждения рулонов, включая охлаждение (2 ч) составляет 21 ч при температуре подаваемого воздуха 93 °С. Рулоны шлифшкурки зернистостью 40 и меньше помещают в термокамеру с подогревом для окончательного отверждения. Время отверждения рулонов составляет 7—10 ч в зависимости от температуры рулона при намотке (92—102 °С). Температура отверждения составляет 110±2 °С, время охлаждения — 10 ч, при температуре 110 °С и выше — 7 ч. Рулоны должны находиться на стеллажах, а в середину каждого рулона должна быть помещена термопара.

Охлаждение рулонов шлифшкурки зернистостью 80—50 производится в камере с продувом. Охлаждение рулонов, имеющих температуру до 90 °С, необходимо производить только в одном направлении, переворачивая рулоны. Охлаждение проводится до температуры 65 °С.

Охлаждение рулонов шлифшкурки зернистостью 32 и мельче производится на выравнивающей машине. Рулоны с температурой выше 115 °С перематываются для ее снижения до 80 °С. Во избежание трещин рекомендуется легкое изгибание шлифшкурки с помощью гуммированного валика диаметром 38 мм.

Выдержка рулонов шлифшкурки производится в помещении цеха от 48 ч до трех недель при относительной влажности 50 %.

Стабилизация шлифшкурки проводится на закрепляющей машине посредством размоточного станка. Шлифшкурка нерабочей стороной проходит по верхнему стальному валу, на который подается вода нижним обрезиненным валом. Закрепляющая машина специально оснащена гибочным стальным валом диаметром 38 мм, посредством которого на нерабочую сторону шлифшкурки подается вода и производится изгиб шлифшкурки (во избежание трещин при образовании петли в сушиле). Сушка шлифшкурки производится в основном сушиле. Выдержка рулонов шлифшкурки перед разделкой производится в течение 48 ч при относительной влажности 50 %.

Режим сушки шлифовальной шкурки при стабилизации приведен в табл. 8.16.

Перед разделкой шлифшкурка подвергается операции кромкования на двойной гибочной машине и затем разделывается на рулоны длиной по 30—50 м.

Таблица 8.16

Режим сушки шлифовальной шкурки при ее стабилизации

Режимы сушки в сушиле при стабилизации	Зоны сушила				
	1	2	3	4	5
Температура сухого термометра, °С	Без нагрева	32	32	Без нагрева	
Температура влажного термометра, °С	То же	24	24	"	
Относительная влажность, %	"	50	50	"	
Скорость полотна шкурки, м/мин	55	55	55	55	55
Время прохождения полотна через сушило, мин	38	38	38	38	38

Хранение прошедшей ОТК шлифшкурки производится в помещении в штабелях, но не более чем в пять рядов по высоте на поддонах и рассортированной по видам абразивного материала и его зернистости, а также по видам основы.

8.4. Технология изготовления водостойкой шлифовальной шкурки на бумажной и тканевой основах

Изготовление водостойкой шлифовальной шкурки на бумажной основе по ГОСТ 10054–82 и на тканевой основе по ГОСТ 13344–79 производится в России на поточно-механизированных линиях с применением современного оборудования, закупленного у европейских фирм. Применяемые материалы для изготовления шлифовальной шкурки приведены в табл. 8.1 и 8.2, а также в работах авторов [430–434]. Так, для аппретирования саржи утяжеленной в целях придания ткани смолонепроницаемости, повышенной механической прочности, упругости и др. авторами [430] предложена латексно-смоляная композиция: на 100 мас. ч. смолы СФЖ-91 60 мас. ч. латекса БСК 65/3 и 50 мас. ч. воды, а перед этим для повышения адгезии аппрета ткани перед его нанесением тканевую основу пропитывают следующей композицией, мас. ч. на сухое вещество латекса: латекс — 65/3, pH – 10, сухое вещество — 50–100; 20 %-ный алкилсульфонат натрия — 1; вода — 20.

Авторами [431] предлагается состав аппрета марки МП на основе поливинилацетатной эмульсии, состоящей из следующих компонентов, вес. ч.: поливинилацетатная эмульсия (50 % сухого остатка) — 80; поливиниловый спирт (7,5 %-ный водный раствор) — 13,3; карбомол ЦЭМ — 2,00; алкамон ОС — 0,5; хлорид магния — 2,7. Испытания показали, что прочность такой ткани на аппрете МП по сравнению с тканью, аппретированной промышленным аппретом-28 (на основе стиролбутадиенового латекса СКС-30), увеличивается на 5–7 %, а удлинение уменьшается в 1,5–2 раза, прочность при расслаивании склеенных полосок ткани выше в сухом виде в 4, а в мокром в 1,5 раза. Работоспособность шлифовальной шкурки, изготовленной на этой ткани, также в 1,5–2 раза выше по сравнению с тканью на аппрете-28.

Для аппретирования саржи средней и утяжеленной разработчики [432] выбрали бутадиенстирольные латексы, упрочненные карбамидоформальдегидной и фенолформальдегидной смолами.

При использовании сочетаний латексных и латексно-смоляных составов с различными соотношениями латекс-смола наполнитель-модификатор удалось повысить жесткость образцов эластичной шкурки в пять-шесть раз, а жестких шкурок — в три-четыре раза по сравнению с серийно выпускаемой шлифовальной шкуркой.

Для изготовления шлифовальной шкурки на тканевой основе опробованы композиции из вододисперсионных полимеров (ВП) и термореактивной смолы (ТС) в различных соотношениях [433].

Выявлено, что эластичность шлифовальной шкурки пропорционально увеличивается с повышением содержания в композиции для нанесения основного слоя вододисперсионного полимера, а оптимальные физико-механические

показатели (приведенный износ и режущая способность) обеспечиваются при равном соотношении ВП и ТС и увеличиваются на 20–30 %, причем эластичность шкурки на винилацетатных вододисперсионных полимерах выше, чем на акриловых.

В отечественной практике с 1997 года начато промышленное освоение производства водостойкой и неводостойкой тканевой и бумажной шлифовальных шкурок на фенолформальдегидных и комбинированных латексно-смоляных связках взамен мездрового клея, при этом получено увеличение режущей способности шкурки (мм^2/мин) в 1,5–2,0 раза по сравнению с режущей способностью шкурки по ГОСТ 13344–79 [434].

8.5. Технология изготовления однослойной шлифовальной шкурки на тканевой основе

Шлифовальная шкурка изготавливается на поточной линии непрерывного действия. Скорость движения полотна шкурки из абразивных материалов зернистостью № 125–50 составляет 10–15 м/мин, 40–25 — 16–20 м/мин, 16–8 — 26–30 м/мин, 6–3 — 32–36 м/мин.

Технология изготовления шлифовальной шкурки состоит из следующих операций:

установка рулона ткани на размоточном станке;

заправка свободного конца основы через валики машины и другие ее части;

маркировка (двухцветная печать) нерабочей стороны основы шкурки на печатном станке и подсушка при t = 40–50 °С в течение 2,5±1 мин;

нанесение первого клеевого слоя (основного) на клеенаносящей машине с подогревом ванны до 35–40 °С. Клей наносится в жало валов с нижним маншонным или обрезиненным валом (машина типа фирмы Rodeboiler, Германия);

нанесение абразивного материала на основу при помощи универсальной электростатической машины с вибропитателем; для зернистости № 125–50 гравитационным методом (методом свободной петли) по типу машин, выпускаемых фирмами Reisinger Apparatebau и Rudolf Reisinger (Австрия), обеспечивающих равномерное нанесение абразивного материала любой зернистости и заданную структуру абразивного слоя (открытую, частично открытую или сплошную — плотную);

поликонденсация основного клеевого слоя основы шлифовальной шкурки в гирляндном сушиле имеющем терморегулировку и три степени сушки (первая — от 20 до 70 °С, вторая — от 70 до 100 °С, третья — от 100 до 130 °С), с закрепленными вешалами, полностью исключающими возможность падения шлифшкурки. Режим поликонденсации осуществляется в зависимости от зернистости шкурки (табл. 8.17);

обдувка холодным воздухом с температурой не выше 25 °С со скоростью 2,4 м/с для охлаждения шкурки до 40–50 °С;

нанесение закрепляющего слоя клея на клеенаносящей машине, аналогичной применяемой в операции нанесения основного клеевого слоя;

Таблица 8.17

Режимы поликонденсации основного клеевого слоя основы шлифовальной шкурки

Номер зернистости	I секция		Время подъема температуры в сушиле от 70 до 100 °С, мин, во II секции	Время сушки при t = 100–130 °С, мин, в III секции	Время охлаждения, мин
	Время удаления летучих при t = 20–70 °С, мин	Скорость подъема температуры, °С/мин			
125–50	75	0,7	30	90	60
40–25	60	0,8	30	70	45
16–8	36	1,4	25	46	36
6–3	33	1,5	25	35	30

Таблица 8.18

Режимы поликонденсации закрепляющего клеевого слоя основы шлифовальной шкурки

Номер зернистости	I секция		Время подъема температуры в сушиле от 70 до 100 °С, мин, во II секции	Время сушки при t = 100–130 °С, мин, в III секции	Время охлаждения, мин
	Время удаления летучих при t = 20–70 °С, мин	Скорость подъемв температуры, °С/мин			
125–50	35	1,4	30	130	12
40–25	33	1,5	30	100	10
16–8	20	2,5	20	66	7
6–3	20	2,5	20	50	7

поликонденсация закрепляющего слоя основы шлифовальной шкурки в гирляндном сушиле с закрепленными веналами, аналогичном применяемому в операции поликонденсации основного клеевого слоя. Режим поликонденсации осуществляется в зависимости от зернистости шкурки (табл. 8.18);

увлажнение (пропарка шкурки со стороны основы) паровоздушной смесью, подаваемой из специального смесителя с температурой 70–80 °С и влажностью W = 95–98 %. Расход паровоздушной смеси на 1 м^2 увлажнительной камеры 3–5 м^3/ч;

намотка шкурки в рулоны длиной 350 пог. м;

выдержка готовой шкурки в рулонах в течение 10 суток при t = 20±2 °С и относительной влажности W = 6±5 %;

придание эластичности методом изгиба;

проверка качества шлифовальной шкурки в соответствии с ГОСТ 13344–79 и ГОСТ 10054–82;

транспортировка рулонов шлифшкурки в цех переработки ее на изделия и на склад для хранения.

8.6. Технология изготовления двухслойной шлифовальной шкурки на тканевой основе

8.6.1. Подготовка исходных материалов

Основными материалами для производства двухслойной шлифовальной шкурки служат: хлопчатобумажная ткань (называемая основой) — саржа утяжеленная по ГОСТ 3378—80, шлифзерно и шлифпорошки карбида кремния зеленого и черного, электрокорунда белого зернистостью № 50—8, электрокорунда хромистого и монокорунда по нормативно-технической документации (НТД).

Для предприятий авиационной промышленности применяется абразивное зерно с содержанием основной фракции не менее 60 % и мелкой фракции не более 0,5 %; все шлифматериалы подвергаются термической обработке при t = = 700—800 °С.

Связка — фенолформальдегидные смолы марок СФЖ-3038 (для первого основного слоя) и СФЖ-3039 (для закрепляющего слоя) в присутствии в качестве катализатора малеинового ангидрида в гранулах и диэтилгликоля в качестве стабилизатора, отвердители смол — жженая магнезия по ГОСТ 844—81 и уротропин; наполнитель — каолин.

Аппретирование тканевой основы

Клей для аппрета — фенолформальдегидные смолы марки СФЖ-91, отвердитель — жженая магнезия по ГОСТ 844—81, и наполнитель — каолин. В качестве аппрета применяется смесь, приготовленная из 100 вес. ч. формальдегидной смолы "А" (2—4 мин по ВЗ-4), из 2 вес. ч. жженой магнезии и 5—10 вес. ч. каолина (для повышения вязкости и увеличения сухого остатка аппрета). Эта смесь перемешивается в емкости с мешалкой и водяной рубашкой в течение 20 мин. Нанесение аппрета на ткань производится аналогично указанному ранее процессу (см. разд. 8.3).

Приготовление клеевых растворов осуществляется в соответствии с технологией, описанной в разд. 8.3, за исключением перемешивания компонентов клея, которое составляет 30 мин.

8.6.2. Технология изготовления шлифовальной шкурки

Двухслойная шлифовальная шкурка изготовляется на аппарате-конвейере непрерывного действия при следующих скоростях движения полотна шкурки: из шлифовальных материалов зернистостью № 50 — 5—8 об/мин; 40—25 — 6—10 об/мин; 16—8 — 10—20 об/мин.

Технология изготовления шлифовальной шкурки включает следующие операции:

размотка рулона аппретированной ткани на станке;

маркировка (двухцветной печатью) нерабочей стороны основы шкурки на печатном станке и подсушки при t = 40—50 °С в течение 2,5 + 1 мин;

нанесение первого клеевого слоя (основного) на клеенаносящей машине с подогревом клея в ванне до 35—40 °С;

насыпка первого слоя абразивного зерна на основу (насыпка сплошная) методом механической насыпки с вдавливанием валиком или электростатическим методом на универсальной установке (см. разд. 8.3);

поликонденсация основного слоя клея в гирляндном сушиле с закрепленными вешалами, полностью гарантирующими невозможность падения шкурки в сушильных камерах с расстоянием между вешалами не менее 600 мм. Режим поликонденсации осуществляется в зависимости от зернистости шкурки (табл. 8.19);

обдувка холодным воздухом с температурой не выше 25 °С, со скоростью 2,5 м/с для охлаждения шкурки до 40–50 °С;

нанесение второго слоя клея на шкурку только электростатическим методом на машине, указанной в разд. 8.3;

поликонденсация вторых основного и закрепляющего слоев клея в зависимости от зернистости абразивного материала при режимах, указанных в табл. 8.20;

увлажнение и охлаждение по технологии, указанной в разд. 8.3;

смотка шкурки в рулоны по 200 пог. м;

кондиционирование рулонной шлифшкурки в течение 10 дней при $t = 20 + + 2$ °С и относительной влажности $W = 65 \pm 5$ %;

придание эластичности методом изгиба;

Таблица 8.19

Режимы поликонденсации основного слоя клея основы шлифовальной шкурки

Номер зернистости	I секция		Время подъема температуры в сушиле от 70 до 100 °С, мин, во II секции	Продолжительность сушки при $t = 130$ °С, мин, в III секции	Время охлаждения, мин
	Медленный подъем температуры от 20 до 70 °С, мин	Скорость подъема температуры, °С/мин			
50	70	0,7	30	70	90
40–25	60	0,8	30	70	60
16–8	36	1,4	25	46	45

Таблица 8.20

Режимы поликонденсации первого и второго закрепляющих слоев основы шлифовальной шкурки

Номер зернистости	I секция		Время подъема температуры в сушиле от 70 до 100 °С, мин, во II секции	Продолжительность сушки при $t = 130$ °С, мин, в III секции	Время охлаждения, мин
	Медленный подъем температуры от 20 до 70 °С, мин	Скорость подъема температуры, °С/мин			
50	35	1,4	30	105	90
40–25	33	1,5	30	100	60
16–8	30	2,5	20	66	45

проверка качества шлифовальной шкурки в соответствии с ГОСТ 13344–79 и ГОСТ 10054–82;

транспортировка рулонов шлифшкурки в цех переработки ее на изделия или непосредственно на склад для хранения.

8.7. Технология изготовления двухслойной водостойкой шлифовальной шкурки на тканевой основе для обработки экранов кинескопов

8.7.1. Подготовка исходных материалов

Основными материалами для производства двухслойной водостойкой шлифовальной шкурки для экранов кинескопов служат:

Ткань "полудвунитка" по ГОСТ 7287–63 и саржа утяжеленная по ГОСТ 3357–78. Ткань должна храниться в штабелях высотой 1,5–2,0 м при t = 20±5 °С и относительной влажности W = 50–60 % в закрытых складах, защищенных от атмосферных осадков и почвенной влаги.

Абразивный материал — микропорошки белого электрокорунда марки 25А зернистостью М40, М28 и карбида кремния марки 51С зернистостью М28 специальной классификации (без предельной фракции), для чего микропорошки просеиваются на грохоте через сетку 004, и после рассева они должны соответствовать по гранулометрическому составу требованиям, приведенным в табл. 8.21. В микропорошках карбида кремния черного регламентируется содержание свободного графита (не более 0,8 %) [435].

Приготовление аппрета и аппретирование ткани производятся аналогично тому, как указано в разделах 8.3 и 8.6.1.

Связка — синтетический клей — фенолформальдегидные смолы марок СФЖ-3029 и СФЖ-3030 по ТУ 6-05-01391–78, представляют собой продукты двухстадийной поликонденсации фенола с формальдегидом в присутствии катализатора — соляной кислоты на первой стадии и едкого натра NaOH — на второй.

Отвердитель — малеиновый ангидрид в гранулах.

Пластификатор и ускоритель — трихлорэтилфосфат и растворитель.

Приготовление аппрета и аппретирование ткани производится аналогично тому, как указано в разделах 8.3 и 8.6.1.

Клеевые композиции приготовляются в следующей последовательности.

Таблица 8.21

Гранулометрический состав микропорошков

Обозначение зернистости	Наименование фракции								
	предельная		крупная		основная		комплексная		менее
	Размер зерен, мкм	%, не более	Размер зерен, мкм	%, не более	Размер зерен, мкм	%, не более	Размер зерен, мкм	%, не более	Размер зерен
М40	63–50	Не допускается	50–40	12	40–28	55	40–20	80	мельче 20
М28	50–40	Не допускается	40–28	15	28–20	65	28–14	82	мельче 14

Для первого клеевого слоя, наносимого на основу, применяется смола СФЖ-3029, в которую вводится отвердитель — малеиновый ангидрид в количестве 3 % к сухому остатку смолы и пластификатор — трихлорэтилфосфат в количестве 10 % к сухому остатку смолы. Вязкость рабочей клеевой композиции должна быть в пределах 120–130 с по показаниям прибора ВЗ-4. Регулирование вязкости производится добавкой смолы СФЖ-3030 (при низкой вязкости) или растворителя (при высокой вязкости). Отвердитель и пластификатор через весовые дозаторы подаются в смеситель со смолой. Емкость смесителя рассчитана на приготовление клеящего вещества для восьмичасовой работы клеенаносящей машины. Смеситель снабжен водяной рубашкой для подогрева смолы до t = 30–40 °С. Скорость вращения лопастей мешалки 40 об/мин. Время перемешивания смолы СФЖ-3029 с отвердителем и пластификатором составляет 15 мин. Готовая композиция из смесителя поступает в промежуточную емкость. Максимально допустимая продолжительность хранения готовой композиции 12 ч при t = 20 °С и 8 ч при t = = 25–35 °С.

Для второго клеевого слоя, наносимого на шкурку после первой насыпки абразивного материала, применяется смола СФЖ-3029 с введенным отвердителем и пластификатором, разбавленная растворителем до вязкости 90–100 с по показаниям прибора ВЗ-4. Приготовление клеевой композиции для второго слоя производится аналогично первому слою.

Для приготовления закрепляющего клеевого слоя смола СФЖ-3029 с введенным отвердителем и пластификатором разбавляется растворителем до вязкости 50–60 с по показаниям прибора ВЗ-4. Приготовление клеевой композиции производится аналогично описанному выше.

8.7.2. Технология изготовления микронной шлифовальной шкурки

Микронная шлифовальная шкурка изготовляется на поточной линии непрерывного действия, работающей со скоростью движения полотна 5–15 м/мин.

Технологический процесс состоит из следующих операций:

установка рулона аппретированной ткани на размоточном станке и заправка свободного конца основы через валики и другие части машины;

маркировка (двухцветная печать) нерабочей стороны основы шкурки на печатном станке;

нанесение первого основного слоя клея на аппретированную сторону ткани на клеенаносящей машине с верхним маншонным валиком с подогревом ванны до t = 30–40 °С;

электростатическая насыпка шлифматериала в герметизированной камере;

поликонденсация клеящего состава шкурки после первой насыпки зерна, осуществляемой в гирляндном сушиле, имеющем три секции сушки, с закрепленными вешалами, полностью исключающими возможность падения шлифшкурки в сушильных камерах, с расстоянием между гирляндами не менее 300 мм по режиму, приведенному в табл. 8.22;

охлаждение шкурки до 40–50 °С обдувкой воздухом;

нанесение второго клеевого слоя на клеенаносящей машине с верхним маншонным валом с обогревом ванны до 30–40 °С;

Таблица 8.22

Режим поликонденсации клеевого слоя основы шлифовальной шкурки

Номер зернистости	Время удаления летучих при t = 20–70 °С, мин	Время подъема температуры в сушиле от 70 до 100 °С, мин	Время сушки при t = 100 °С, мин	Время охлаждения, мин
М40–М28	20	20	50	1,0
М40–М28	21	21	51	1,5

охлаждение шкурки до 40–50 °С обдувкой воздухом;

нанесение насыпки второго слоя зерна в электростатической камере;

поликонденсация клеящего состава шкурки после второй насыпки шлифматериалов в гирляндном сушиле с закрепленными вешалами по режиму, указанному выше;

нанесение закрепляющего слоя клея вязкостью 40–50 с по показаниям прибора ВЗ-4 на клеенаносящей машине с верхним маншонным валиком;

поликонденсация клеящего состава шкурки в гирляндном сушиле по режиму, аналогичному указанному выше;

увлажнение шкурки (пропарка со стороны основы) и охлаждение до 40–50 °С по технологии, указанной в разд. 8.2.3;

смотка шкурки в рулоны по 350 пог. м;

выдержка готовых рулонов шкурки в течение 10 суток при t = 20+2 °С и относительной влажности 65±5 %;

контроль готовой шкурки.

8.8. Контроль качества шлифовальных шкурок

Контроль готовой шлифовальной шкурки осуществляется по следующим показателям: неравномерность толщины; влажность; приведенный износ; прочность на разрыв; режущая способность.

Неравномерность толщины шлифовальной шкурки измеряется микрометром типа МК (с предельно допустимой погрешностью ±0,01 мм) на расстоянии не менее 10 мм от кромки рулона и должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 8.23.

Влажность шлифовальной шкурки определяется по разности масс трех образцов шкурки размером 100 × 100 мм до и после сушки, вычисляется в процентах от первоначальной массы и должна быть 3–7 %.

Приведенный износ шлифовальной шкурки (отношение зернистости шлифовальной шкурки к ее осыпаемости) определяется на приборе КЗШ конструкции ВНИИАШа (рис. 8.11) истиранием шкурки по шкурке в течение 2 мин при нагрузке 29,4 Н (для шкурки на бумажной основе) и 49 Н (для шкурки на тканевой основе). Испытанию подвергают два образца размером 395 × 50 и 520 × 50 мм. Образцы взвешивают на технических весах с пределами допускаемой погрешности ±0,05 г. Осыпаемость шкурки равна массе осыпавшегося рабочего слоя в заданный интервал времени при заданных условиях. При расчете приведенного износа для зернистостей М63, М50 и М40 в числителе берутся соответственно цифры 5, 4 и 3.

Приведенный износ электрокорундовой и стеклянной шлифовальных шкурок по ГОСТ 6456–82 должен соответствовать значениям, указанным в табл. 8.24.

Таблица 8.23

Допускаемая неравномерность толщины шлифовальных шкурок

Вид шлифовальной шкурки	Зернистость шлифовальной шкурки	Неравномерность толщины, мм, не более
Шкурка шлифовальная бумажная по ГОСТ 6456–82	50 40–20 16–10 8–4 М63–М40	0,20 0,12 0,10 0,08 0,06
Шкурка шлифовальная бумажная водостойкая по ГОСТ 10054–82	16–8 6–М50 М63–М40	0,12 0,10 0,08
Шкурка шлифовальная тканевая по ГОСТ 5009–82	125–80 63–50 40–20 16–10 8–М40	0,40 0,25 0,15 0,10 0,08
Шкурка шлифовальная тканевая водостойкая по ГОСТ 13344–79	50 40–32 25–20 16–10 8 и мельче	0,28 0,15 0,08 0,06 0,05
Шкурка шлифовальная для обработки труднообрабатываемых материалов:		
неводостойкая и водостойкая тканевые	50–40 32–20 16–10 8–М28	0,20 0,12 0,08 0,06
водостойкая бумажная	М63; М50 М40; М28	0,08 0,06

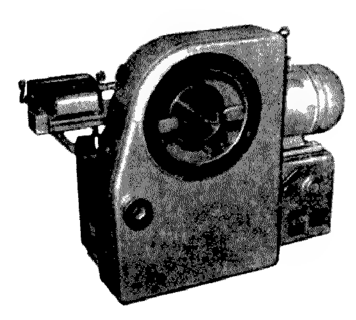


Рис. 8.11. Общий вид прибора типа КЗШ для контроля износостойкости шлифовальной шкурки

Таблица 8.24

Приведенный износ шлифовальных шкурок по ГОСТ 6456–82

Зернистость шлифовальной шкурки	Приведенный износ для типов	
	1	2
50–32	5,0–20,0	Свыше 20,0
25–16	4,0–15,0	Свыше 15,0
12–6	2,0–11,0	Свыше 11,0
5-М40	1,5–9,0	Свыше 9,0

Приведенный износ карбид-кремниевой шлифовальной шкурки зернистостью 6–40 типа 1 должен быть 1,5–7,0, типа 2 — свыше 7,0.

Прочность шлифовальной шкурки на бумажной основе определяется методом испытания на растяжение, основанным на определении значения величины разрушающей силы. Для испытания применяются вертикальные разрывные машины с маятниковым или другого типа силоизмерителем и механическим приводом. Образцы для испытания (полоски) вырезаются в продольном и поперечном направлениях шириной 15±0,1 мм. Длина полосок должна быть 180 мм с припуском для укрепления в зажимах.

Определение прочности на разрыв шлифовальной шкурки на бумажной основе, выпускаемой по ГОСТ 6456–82, производится по ГОСТ 13525.1–79 при температуре окружающей среды. Предельные отклонения образцов для испытания должны быть ±1,0 мм.

Прочность на разрыв шлифовальной шкурки (ГОСТ 6456–82) в зависимости от марки бумаги должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 8.25.

Прочность на разрыв шлифовальной шкурки, изготовляемой по ГОСТ 10054–82, должна соответствовать значениям, указанным в табл. 8.26.

Определение прочности на разрыв в сухом состоянии производится по ГОСТ 6456–82. Прочность на разрыв шлифовальной шкурки во влажном состоянии определяется следующим способом: приготовленные образцы перед испытанием замачивают в воде при температуре (20±2 °С) в течение 2 ч. Избыток

Таблица 8.25

Прочность на разрыв шлифовальных шкурок по ГОСТ 6456–82

Условное обозначение бумаги	Разрывная нагрузка, Н, не менее, в направлении		Условное обозначение бумаги	Разрывная нагрузка, Н, не менее, в направлении	
	продольном	поперечном		продольном	поперечном
П1	196,0	107,8	П7	225,4	117,6
П2	245,0	137,2	П8	274,4	137,2
П3	294,0	156,8	П9	401,8	175,5
П4	294,0	156,8	П10	372,4	157,0
П5	392,0	98,0	П11	225,0	117,6
П6	176,4	98,0	П11	225,0	117,6

Таблица 8.26

Разрывная нагрузка в продольном и поперечном направлениях

Условное обозначение бумаги	Состояние шлифовальной шкурки	Разрывная нагрузка, *Н*, не менее, в направлениях	
		продольном	поперечном
М	Сухая	156,5	78,5
	Влажная	78,5	39,0
Л1	Сухая	83,5	42,0
	Влажная	42,0	31,5
Л2	Сухая	83,5	42,0
	Влажная	38,0*–42,0	24,5

* По согласованию с потребителем.

воды снимают фильтровальной бумагой и немедленно проводят испытание по ГОСТ 6456–82.

Прочность на разрыв шлифовальной шкурки на тканевой основе характеризуется значением разрывной нагрузки при испытании полоски шкурки на специальной разрывной машине, например модели РТ-250 (рис. 8.12). Показания машины снимаются по шкале нагрузок с точностью до тысячных долей [436].

Испытания прочности на разрыв образцов шлифовальной шкурки на тканевой основе производятся при относительной влажности воздуха 65±5 % и температуре 20±5 °С. Образцы перед испытанием должны быть выдержаны в развернутом виде в вышеуказанных условиях в течение не менее 24 ч.

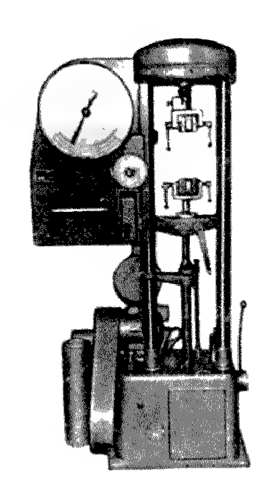


Рис. 8.12. Разрывная машина для контроля прочности на разрыв шлифовальной шкурки на тканевой основе

Определение значения разрывной нагрузки выбранной шкурки производится испытанием трех полосок продольного направления и четырех полосок поперечного направления шириной 50 мм каждая. Полоски выкраиваются из образца таким образом, чтобы продольные нити какой-либо полоски не являлись продолжением нитей другой полоски. Расстояние между зажимами берется 200 мм.

Разрывной нагрузкой образца в поперечном или продольном направлении считается среднее арифметическое результатов испытания всех полосок продольного и поперечного направлений, подсчитанное с точностью до 0,0001 и округленное до 0,001.

Растяжимость шлифовальной шкурки на тканевой основе при разрыве характеризуется удлинением полоски при разрыве и выражается в процентах к первоначальной длине образца. Во время растяжения полоски при определении значения разрывной нагрузки непрерывно следят за указа-

телем удлинения и улавливают значение этого удлинения в момент останов-ки маятникового силоизмерителя (грузового рычага). Удлинение фиксируют с точностью до 1 мм. Результатом испытания образна считают среднее ариф-метическое показателей испытаний всех полосок продольного направления или всех полосок поперечного направления. Подсчитанное с точностью до 0,1 мм и округленное с точностью до 1,0 мм удлинение определяется с точностью до 0,1 %.

Прочность на разрыв и удлинение воздушно-сухой шлифовальной шкурки, выпускаемой по ГОСТ 13344–79, должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 8.27.

Прочность на разрыв и удлинение шлифовальной шкурки, выпускаемой по ГОСТ 27181–86, должны соответствовать значениям, указанным в табл. 8.28.

Определение режущей способности шлифовальной шкурки на бумажной основе производится на приборе типа МИ-2 (рис. 8.13). Испытание производится методом истирания двух кубиков органического стекла марки ПА размером 20 × 20 × 14±0,1 мм образцом шлифовальной шкурки в форме диска диаметром 174 мм с отверстием диаметром 55 мм в течение 5 мин. Пластины из органического стекла марки ТОСН (ГОСТ 17622–72) наклеиваются на резиновые подкладки (резина твердости по Шору 60–80) клеем марок БФ2

Таблица 8.27

Прочность на разрыв и удлинение шлифшкурки, выпускаемой по ГОСТ 13344–79

Условное обозначение бумаги	Разрывная нагрузка, *Н*, не менее, в направлении		Удлинение при разрыве в продольном направлении
	продольном	поперечном	
СП	1764	784	3
С1Г	1127	230	7
УГ	1372	353	8
П	980	588	9

Таблица 8.28

Прочность на разрыв и удлинение шлифшкурки, выпускаемой по ГОСТ 27181–86

Вид шкурки	Обозначение ткани (бумаги)	Состояние шкурки	Разрывная нагрузка, *Н*, не менее, в направлении		Удлинение в продольном направлении, %, не более	
			продольном	поперечном	при нагрузке 98 Н/с	при разрыве
Неводостойкая тканевая	У2П; У2Р	Сухое	1764,0	490,0	1,5	7,0
	С2П		1715,0	441,0	1,5	8,0
Водостойкая тканевая	У2П; У2Р	Влажное	1666,0	441,0	1,5	9,0
Водостойкая бумажная	Л2	Сухое	83,5	42,0	–	–
	Л2	Влажное	42,0	24,5	–	–

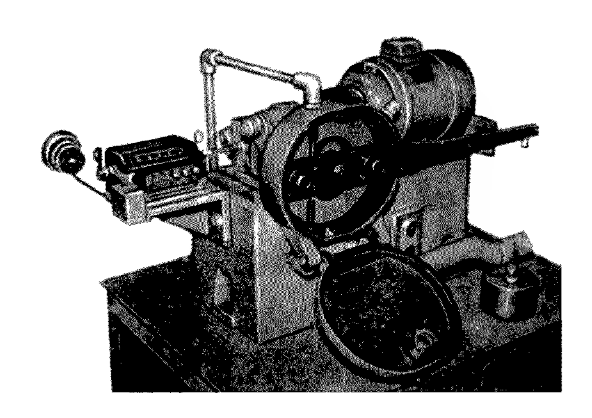


Рис. 8.13. Общий вид прибора типа МИ-2
для контроля режущей способности водостойкой
шлифовальной шкурки на бумажной основе

и БФ4 по ГОСТ 12172–74 или других марок, обеспечивающих прочность соединения пластин из органического стекла с резиновой подкладкой, по нормативно-технической документации (НТД); предварительно притираются в условиях испытания до появления следов на рабочей поверхности пластин, очищаются от пыли и взвешиваются с пределом допускаемой погрешности ±0,01 г.

Испытания проводятся по режимам, приведенным в табл. 8.29.

Испытуемый образец шлифовальной шкурки устанавливает на диск, заменяя в нем шлифовальную шкурку, используемую при притирке. Пластины оргстекла устанавливаются в держателях прибора МИ-2 в том же положении, что и при притирке, и производятся испытания. После испытания пластины из органического стекла очищаются от пыли и взвешиваются с пределом допустимой погрешности ±0,01 г.

Режущая способность Q, г/мин, вычисляется по формуле $Q = m/t$, где m — масса шлифованного органического стекла, г, t — время его обработки, мин.

Разница массы образцов до и после испытания шлифовальной шкурки принимается за показатель режущей способности.

Таблица 8.29

Режимы испытаний шлифовальной шкурки

Зернистость	Усилие прижима, *Н*	Время обработки, мин	Наличие обдува при обработке
80–50	98,0	5,0	Без обдува
40–25	72,5	5,0	
20–6	49,0	5,0	С обдувом
5–М40	25,5	5,0	

В качестве примера приводится режущая способность шлифовальной шкурки на бумажной основе, выпускаемой по ГОСТ 6456−82 (табл. 8.30).

Режущая способность шлифовальной шкурки на тканевой основе определяется массой материала, снятого образцом шлифовальной шкурки размером 20 × 280 мм. Определение режущей способности производится на специальном приборе ПСШ-3 (конструкции УралВНИИАШа) методом шлифования круглого стержня длиной 250−300 мм, диаметром 10 мм из калиброванной стали марки 45 по ГОСТ 1051−88.

Образец шлифовальной шкурки прокромковывается, взвешивается и закрепляется на металлическом диске диаметром 100 мм, а шлифуемый стержень — в патроне держателя. Шлифуемый стержень должен быть наклонен в сторону вращения диска так, чтобы торец стержня после шлифования был плоским. С этой целью производят шлифование шкуркой зернистости 12 из нормального электрокорунда в течение 15 с при радиальной нагрузке 19,6 Н, частоте вращения стержня 36 мин $^{-1}$, скорости шлифования 15 м/с.

Для определения режущей способности шлифовальной шкурки шлифование стержня производится в следующем режиме: радиальная нагрузка — 9,8 Н, время шлифования — 1 мин, скорость шлифования — 15 м/с, частота вращения стержня — 36 мин $^{-1}$, после чего измеряется длина сошлифованного участка стержня штангенциркулем с погрешностью ±0,05 мм.

Таблица 8.30

Пример режущей способности шлифовальной шкурки на бумажной основе (ГОСТ 6456−82)

Зернистость	Режущая способность шкурки, г/мин, не менее		
	электрокорундовой	карбидкремниевой	стеклянной
50	0,422	0,450	0,300
40	0,300	0,320	0,260
32	0,300	0,320	0,260
25	0,290	0,300	0,250
20	0,200	0,220	0,160
16	0,195	0,210	0,110
12	0,187	0,205	0,080
10	0,176	0,200	0,070
8	0,151	0,195	0,060
6	0,100	0,192	
5	0,079		
4	0,041	–	–
М63	0,079	0,066	–
М50	0,038	0,025	–
М40	0,014	0,21	–

По окончании испытаний образец шлифовальной шкурки снимается и взвешивается.

Режущая способность определяется по формуле

$$Q = (78{,}5/t)q_1,\ мм^3/мм,$$

где q_1 — длина сошлифованного эталонного стержня за первый период шлифования, мм; t — время шлифования, t = 1 мин.

Для определения показателя прочности закрепления абразивных зерен стержень охлаждается до комнатной температуры или заменяется на другой стержень и шлифуется в режиме, указанном в табл. 8.31.

Показатель прочности закрепления абразивных зерен K, мм/г, шлифовальной шкурки определяется по формуле

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_1}{\Delta},\ мм/г,$$

где q_1 — длина сошлифованного эталонного стержня, мм; n — количество циклов до достижения критерия стойкости; Δ — разность масс образца шлифовальной шкурки до и после испытания, г.

Показатель прочности закрепления абразивных зерен определяют как среднее арифметическое значение трех испытаний.

В качестве примера в табл. 8.31 приводятся показатели прочности закрепления абразивных зерен K неводостойкой и водостойкой тканевых шкурок в зависимости от связки.

Таблица 8.31

Показатели прочности закрепления абразивных зерен *K* неводостойкой и водостойкой тканевых шкурок, изготовленных по ГОСТ 27181−86, в зависимости от связки

Зернистость	*K*, мм/г, не менее, для шкурки		
	электрокорундовой		карбид-кремниевой
	на связке "К"	на связке "С"	на связке "С"
50	64,0	71,8	18,0
40	51,0	62,0	18,0
32	39,0	53,0	18,0
25	30,0	45,0	18,0
20	20,0	39,0	18,0
16	14,0	33,0	18,0
12	11,0	26,0	15,0
10	9,0	20,8	15,0
8	7,5	16,0	15,0
6	5,0	12,4	12,0
5; М63	4,0	7,5	5,0
4; М50	2,0	4,7	5,0
М40	1,0	2,6	5,0
М28	0,5	1,0	2,0

Коэффициент нанесения шлифматериала на основу $K_н$ (отношение площади основы с нанесенным шлифматериалом к ее общей площади) рассчитывается по формуле:

для исполнения 1:

$$K_н = \frac{a_{max}}{t_{max}},$$

где a_{max} — максимальная ширина рельефа, мм; t_{max} — максимальный шаг рельефа, мм;

для исполнения 2:

$$K_н = \frac{a^2_{max}}{t^2_{max}};$$

для исполнения 3:

$$K_н = \frac{a_{max}\left(2t_{max} - a_{max}\right)}{t^2_{max}};$$

для исполнения 4:

$$K_н = \frac{a_{max}a_{min}}{t_{max}t_{min}},$$

где a_{min} — минимальная ширина рельефа, мм; t_{min} — минимальный шаг рельефа, мм.

Для определения вида, марки и зернистости абразивного материала, указанных в маркировке, берется необходимое количество образцов из разных мест предъявленной к проверке партии шлифовальной шкурки.

Образцы шлифовальной шкурки разрезают, помещают в фарфоровые чашки и сжигают в муфельной печи до полного сгорания основы и клея. Затем абразивный материал отсеивают или отмывают от золы и подвергают лабораторному испытанию для определения химического, минерального и зернового составов. Химический и минеральный составы абразивного материала определяют по техническим условиям, действующим в абразивной промышленности. Зерновой состав определяют по ГОСТ 3647–80.

8.9. Маркировка, упаковка и хранение рулонов шлифовальной шкурки

В отличие от других видов абразивного инструмента маркировка шлифовальной шкурки производится в начале ее изготовления.

Условные обозначения, наносимые при маркировке шлифовальной шкурки, показывают ее основную характеристику.

На нерабочей поверхности рулона шлифовальной шкурки через каждые (235±20) мм в продольном и через каждые (200±20) мм в поперечном направлениях наносятся: товарный знак предприятия-изготовителя; вид шлифовальной шкурки; вид связки; марка и зернистость абразивного материала; номер партии; номер стандарта. Это относится ко всем типам шкурки, за исключением

тканевой шлифовальной шкурки, изготовляемой по ГОСТ 27181−86, у которой маркировка на нерабочей стороне наносится через каждые (515±20) мм в продольном и через каждые (100±20) мм в поперечном направлениях.

На каждом упакованном рулоне, пачке, кипе или ящике со шкуркой наклеивается этикетка или наносится штамп с вышеуказанными данными, а также проставляются дата выпуска и штамп технического контроля. Примеры маркировки:

1Э 720 × 50 15А 25 П2 МА ГОСТ 6456−82 — шлифовальная шкурка для машинной и ручной обработки металлов, дерева и других материалов, изготовленная электростатическим способом, ширина рулона 720 мм, длина 50 м, из электрокорунда марки 15А зернистостью 25 на бумаге марки О-200 (П2) с применением мездрового клея, класс А;

1Э 820 × 50 15А 5 ЛОГ МА ГОСТ 5009−82 — шлифовальная шкурка для машинной обработки металлов и неметаллических материалов, главным образом вязких и прочных, изготовленная электростатическим способом, ширина рулона 820 мм, длина 50 м, из электрокорунда марки 15А зернистостью 5 на сарже особо легкой гладкокрашеной с применением мездрового клея, класс А;

водостойкая 500 × 50 64С 16 А ГОСТ 10054−82 — водостойкая шлифовальная шкурка на бумажной основе, ширина рулона 500 мм, длина 50 м, из карбида зеленого марки 64С зернистостью 16-П, класс А;

Д2 820 × 20 У Г 63 С 40/25 СФЖ ГОСТ 13344−79 — водостойкая двухслойная шлифовальная шкурка типа 2 шириной 820 мм, длиной 20 м, на тканевой основе, из гладкокрашенной утяжеленной саржи, из карбида кремния марки 63С зернистостью 40 и 25 на фенолформальдегидной смоле;

795 × 40 У2Р 14А 25 СА ГОСТ 27181−82 — неводостойкая тканевая шлифовальная шкурка в рулоне, ширина 795 мм, длина 40 м, на суровой расшлихтованной утяжеленной № 2 сарже, из нормального электрокорунда марки 14А зернистостью 25 на синтетической связке, класс А;

Л 280 × 310 Л2 51С М50 А ГОСТ 27181−86 — водостойкий бумажный шлифовальный лист Л, ширина 280 мм, длина 310 мм, на влагопрочной бумаге с полимерной пропиткой и латексным покрытием марки ОВП-120, из черного карбида кремния марки 51С зернистостью М50, класс А.

Каждый рулон обертывается двойным слоем плотной бумаги и заклеивается на стыках. Листы шлифовальной шкурки упаковываются в пачки или кипы, обертываются в два-три слоя плотной бумаги, заклеиваются на стыках и перевязываются шпагатом.

Шлифовальная шкурка на тканевой и бумажной основах, а также водостойкая на тканевой основе должны храниться на верху стеллажей, в его ячейках или в рулонах (рис. 8.14), уложенных штабелями высотой девять-семь рядов соответственно.

Водостойкая шлифовальная шкурка на бумажной основе должна храниться в пакетах отдельно от других инструментов. Вследствие применения масляного лака при изготовлении такой шкурки (ГОСТ 10054−75) завершение процесса полимеризации при комнатной температуре идет с выделением тепла и протекает крайне медленно, а при недостаточном тепловом обмене шкурка может разогреваться и даже самовозгораться. Поэтому водостойкую шлифовальную шкурку на бумажной основе необходимо хранить при следующих условиях:

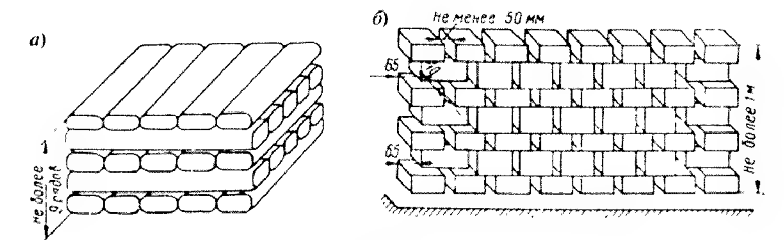


Рис. 8.14. Схема способов хранения шлифовальной шкурки: в рулонах (*а*) и в пакетах (*б*)

только в хорошо вентилируемом помещении при температуре 5–25 °С и относительной влажности воздуха 50–60 %;

пакеты — в штабелях высотой до 1 м и шириной не более одного пакета. Расстояние между смежными штабелями должно быть не менее 100 мм. Пакеты в штабеле должны укладываться в шахматном порядке (см. рис. 8.14, *б*). Между соседними пакетами в каждом горизонтальном ряду должно соблюдаться расстояние не менее 50 мм;

запрещается хранить пакеты на расстоянии менее 0,5 м от источника обогрева;

в случае обнаружения при хранении шкурки разогревшихся пакетов надлежит их рассредоточить, а наиболее разогревшиеся (с температурой выше 100 °С) изолировать;

при отгрузке шкурки потребителям пакеты надлежит упаковывать в ящики из прочных реек с зазорами между ними при общей массе каждого брутто 50 кг;

на салазках, где хранится водостойкая шлифовальная шкурка, необходимо организовать контроль температуры хранящихся пакетов.

8.10. Техника безопасности

При производстве шлифовальной шкурки на синтетических клеях применяются вещества, обладающие некоторой токсичностью и вредным влиянием на организм человека. Наибольшее количество летучих выделяется на участках приготовления клеевых композиций и композиций аппрета при нанесении клеев на основу, нанесения шлифматериала и поликонденсации шкурки.

Все участки, где происходит выделение летучих, должны быть оборудованы эффективной приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей полное удаление токсичных летучих и абразивной пыли.

Реакторы и трубопроводы промываются 20 %-ным раствором щелочи NaOH или KOH — расход на одну линию в год составляет 8–10 т. Клеенаносящая, подклеечная машины и другое оборудование промываются с помощью ветоши один раз в смену от смол СФЖ-3038 и СФЖ-3039 ацетоном, растворителем № 646 (ГОСТ 5630–48) или РДВ (ГОСТ 4399–48), а от смол марок СФЖ-3029, СФЖ-3030, СФЖ-91, СФЖ-95 и СФЖ-114 — 20 %-ным раствором щелочи

(расход на одну линию в год — 20–25 т, количество воды в промывочных растворах не должно превышать 10 %).

Системы трубопроводов промываются путем прокачки растворителей (через систему) один раз в 3 мес.

Специфика технологического процесса производства шлифшкурки на синтетических клеях обусловливает необходимость выполнять следующие требования:

проведение сушки для поликонденсации клеевых слоев в помещениях на втором этаже с максимально возможной изоляцией их от других помещений;

места прохождения сырой шкурки должны быть изолированы при помощи закрытых герметичных каналов;

на участке аппретирования ткани должны быть предусмотрены автоматические химические пожаротушители;

оборудование, установленное в линии изготовления шлифшкурки, на участках приготовления клеевых композиций и аппрета на основе смол типа СФЖ, хранения сырьевых материалов, изготавливается из стали 3, за исключением емкости для хранения трихлорэтилфосфата, трубопроводов перекачки ТХЭФ и смол и оборудования по приготовлению и перекачке аппрета на основе поливинилацетатной эмульсии, которые изготовляются из стали марки Х18Н10Т.

Температурные пределы воспламенения фенола, фурфурола и формальдегида по пожароопасности и предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений приведены в табл. 8.32.

Таблица 8.32

Температурные пределы воспламенения и предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений

Наименование материала	Температурные пределы воспламенения, °С		Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м^3, по СН 245-63
	Нижний	Верхний	
Фенол	48	83	5
Формальдегид	62	80	1
Фурфурол	60	80	10

Шлифовальная шкурка относится к абразивному инструменту на гибкой основе различных видов. Непосредственно шлифовальная шкурка и изделия из нее включают в себя широкую номенклатуру гибкого абразивного инструмента, широко использующегося на обдирочных, получистовых и чистовых операциях при производстве различных деталей из конструкционных сталей, жаропрочных и титановых сплавов, пластмасс, резины, дерева, стекла, кожи, алюминиевых сплавов, бронзы, мрамора и др. Будучи эластичным, этот абразивный инструмент позволяет обрабатывать сложные криволинейные поверхности заготовок. Для изготовления шлифовальной шкурки применяют следующие шлифматериалы: электрокорунд и карбид кремния (искусственные абразивы), а из природных абразивов — стекло и кремень.

Таблица 8.33

Количество летучих, выделяющихся в процессе поликонденсации смол с поверхности шлифовальной шкурки

Наименование смолы	Концентрация смолы, %	Наименование компонентов летучих продуктов, вес. %		
		Фенол	Формальдегид	Вода
Смола СФЖ 3038	54,5–58,0	1,0–2,0	0,05–1,50	38,5–45,0
Смола СФЖ 3039	60,0–62,0	1,0–2,0	0,05–1,50	33,0–39,0
Смола СФЖ-91	70,0–76,0	1,7–2,0	0,08	20,5–29,0
Смола СФЖ-95	54,0–57,0	0	0,89	40,0–45,0
Смола СФЖ-114	–	2,8	Инсинераторы – 0,86	–

Количество летучих, выделяющихся в процессе поликонденсации клеев с поверхности шлифовальной шкурки, приводится в табл. 8.33.

8.11. Изделия из шлифовальной шкурки и их производство

Шлифовальная шкурка применяется в промышленности в виде изделий всевозможных форм и размеров. Для машинного шлифования применяются ленты склеенные (бесконечные) и несклеенные (бобины), листы, лепестковые шлифовальные круги, диски, розетки, колпачки, конусы (рис. 8.15), валики и т. д. В зависимости от назначения изделия изготавливаются из шлифовальной шкурки на тканевой, бумажной и комбинированной основе различных характеристик.

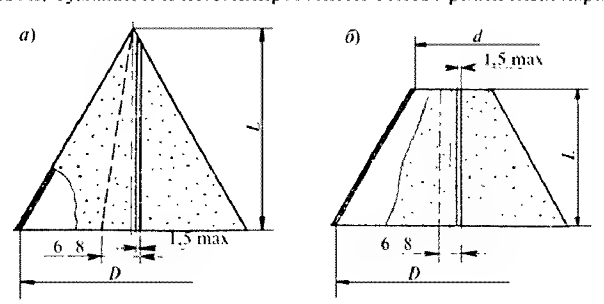


Рис. 8.15. Шлифовальный конус полного типа К (*а*) и усеченного типа КУ (*б*)

Изделия из неводостойких и водостойких тканевых и бумажных шлифовальных шкурок выпускаются по ГОСТ 22776–77 (с изменениями 1–4 1985 г.).

Типы и размеры изделий из шлифовальных шкурок регламентируются ГОСТ 22773–77, ГОСТ 22775–75 и ГОСТ 12439–79. Режущая способность изделий из шлифовальной шкурки должна соответствовать режущей способности шкурки, из которой они изготовлены.

Абразивный инструмент из шлифовальной шкурки. В табл. 8.34 приведены типы, размеры и условные обозначения ряда абразивных изделий из шлифовальной шкурки.

Таблица 8.34

Типы, размеры и условные обозначения ряда абразивных изделий из шлифовальной шкурки

Наименование абразивного инструмента на гибкой основе	Вид шлифовальной шкурки	Тип и размер абразивных инструментов на гибкой основе	Примеры условного обозначения и его расшифровка
Шлифовальные листы по ГОСТ 22773–77	Шлифовальная шкурка водостойкая и неводостойкая на бумажной и тканевой основах по ГОСТ 6456–82, ГОСТ 5009–82, ГОСТ 10054–82	Листы шириной от 70 до 850 мм, длиной от 125 до 1000 мм	Л 125 × 300 14А 16 А1П2Б ГОСТ 22773–77: шлифовальный лист (Л) шириной 125 мм, длиной 300 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 16, из шлифовальной шкурки класса А по ГОСТ 6456–82, на бумаге марки 0 2 класса Б
Шлифовальные диски по ГОСТ 22773–77	Шлифовальная шкурка водостойкая и неводостойкая на бумажной и тканевой основах по ГОСТ 6456–82, ГОСТ 5009–82, ГОСТ 10054–82	Тип Д – сплошной и тип ДО – с отверстием наружным диаметром от 80 до 340 мм и диаметром внутреннего отверстия от 8 до 40 мм. Тип ДП – с прорезями наружным диаметром от 100 до 170 мм и 16 прорезями длиной 20 мм, равномерно расположенными по окружности	ДО 100 × 12 63С Б1 П2А ГОСТ 22773: шлифовальный диск (ДО) наружным диаметром 100 мм, внутренним диаметром 12 мм, зеленого карбида кремния, зернистостью 6, из шлифовальной шкурки класса Б по ГОСТ 6456–82, на бумаге марки 200 класса А
Шлифовальные бобины по ГОСТ 12439–79	Все виды шлифовальной шкурки	Тип Б – для ручной обработки и изготовления бесконечных шлифовальных лент. Бобины шириной до 150 мм и длиной 20, 30, 40, 50 и 100 м. Тип БМ – для машинной обработки шириной до 100 мм и длиной 20, 30, 40 и 50 м. Тип БМП – для машинной обработки с прорезями кромок шириной 5^{+1} мм с шагом 7^{+1} мм, шириной бобин от 30 до 100 мм, длиной 20, 30, 40 и 50 м, внутренний диаметр бобин 55^{+3} или 77^{+3}	БМ 50 × 30 14А 25 Л2 ГА ГОСТ 12439–79: шлифовальная бобина типа БМ шириной 50 мм, длиной 30 м, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 25, из шлифовальной шкурки класса А по ГОСТ 5009–82, на сарже легкой № 2 гладкокрашенной класса А

Бесконечные шлифовальные ленты по ГОСТ 12439 79	Все виды шлифовальной шкурки		ЛБ 100 × 3500 14А 25 А2 У2 ГБ ГОСТ 12439-79: бесконечная шлифовальная лента (ЛБ) исполнения 1 шириной B = 100 мм, длиной L = 3500 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 25, из шлифовальной шкурки класса А по ГОСТ 5009–82, на саржe уплотненной № 2 гладкоокрашенной класса Б
Шлифовальные конусы	Шлифовальная шкурка водостойкая и неводостойкая на бумажной и тканевой основах по ГОСТ 5009–82, ГОСТ 10054 82, ГОСТ 27181 86	Тип К – полный конус с наружным диаметром D = 25, 30, 80 и 50 мм и высотой L = 50, 60, 80 и 100 мм. Тип КУ усеченный конус размером D = 40; 45 мм, L = 140 и 145 мм и d = 32, 35 и 38 мм	КУ 45 × 145 × 32 14А 40 У1 ГА ГОСТ 22774 77: усеченный конус (КУ) диаметром 45 мм, длиной L = 145 мм и диаметром d = 32 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 40, из шлифовальной шкурки по ГОСТ 5009–82, на саржe уплотненной гладкоокрашенной класса А
Шлифовальные трубки	Шлифовальная шкурка водостойкая и неводостойкая на бумажной и тканевой основах по ГОСТ 5009–82, ГОСТ 10054–82, ГОСТ 27181 86	Тип Т внутренние диаметры: 10, 16, 20, 25, 31,5, 40, 45, 50, 55, 60 и 65 мм и длиной l = 180 и 200 мм	Т25 14А 16 С1А ГОСТ 22774 77: шлифовальная трубка (Т) с внутренним диаметром 25 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 16, из шлифовальной шкурки класса Б по ГОСТ 5009–82, на саржe средней № 1 суровой класса А

Технология изготовления бесконечных шлифовальных лент

Бесконечные шлифовальные ленты, ширина которых не превышает ширину рулонной шкурки, изготовляются с одним швом, расположенным под углом 45–60° к кромке основы шкурки.

Бесконечные ленты, ширина которых больше ширины рулонной шкурки (для обработки ДСП размером 1920 × 2020 мм), изготовляются с двумя и более швами из заготовок шкурки, имеющих форму параллелограмма; швы в этом случае располагаются под углом 25–65° к кромке основы шкурки.

Конструкция швов бесконечных лент:

встык с прямым и фигурным швом и подложкой из бумаги, ткани, полимерной пленки;

внахлест с удалением шлифматериала с обеих сторон ленты на участках под шов;

внахлест с удалением шлифматериала с одного конца ленты под шов.

Для склейки используется полиуретановый клей по ГОСТу.

Сопротивление разрыву шва бесконечных лент из комбинированной шлифовальной шкурки должно быть не менее 1120 Н. Сопротивление расслаиванию шва бесконечной ленты шириной 350–3940 мм, изготовленной из водостойкой шлифовальной шкурки, должно быть не менее 12,7 Н/см, из неводостойкой шлифовальной шкурки — 16,7 Н/см.

Бесконечные ленты свертываются в пачки в количестве не более 10 штук. В местах перегибов пачек бесконечных лент устанавливаются втулки из прессованной бумаги или картона диаметром 40–120 мм, высотой, равной ширине бесконечной ленты или превышающей ее не более чем на 15 %.

Технология изготовления тканевых бесконечных шлифовальных лент для обработки лопаток турбин из жаропрочных и титановых сплавов

При производстве тканевых бесконечных шлифовальных лент применяются следующие исходные материалы:

неводостойкая и водостойкая тканевые шлифовальные шкурки по ГОСТ 27181–86, ГОСТ 13344–79;

полиуретановый клей ГИПК-121 по ТУ 6-05-15558–72;

отвердитель — полиизоцианат по ТУ 603-216–68;

ацетон по ГОСТ 2768–69.

Технологическая схема производства бесконечных шлифовальных лент представлена на рис. 8.16.

Отличительной особенностью технологии склеивания бесконечных шлифовальных лент является то, что приготовление клеевого раствора производится в малых количествах в емкости из антикоррозийного материала и раствор перемешивается вручную в течение 10 мин как для первого слоя, так и для второго. Жизнеспособность клея с отвердителем 4 ч. Клей наносится либо кисточкой, либо на станках фирмы "Петер Швабе" (Германия), и заготовки выдерживаются на воздухе после нанесения каждого слоя клея не менее 8 мин.

Полученные бесконечные ленты сразу передаются на пресс для опрессовки шва. Время прессования шва 1 мин при температуре 60–70 °С.

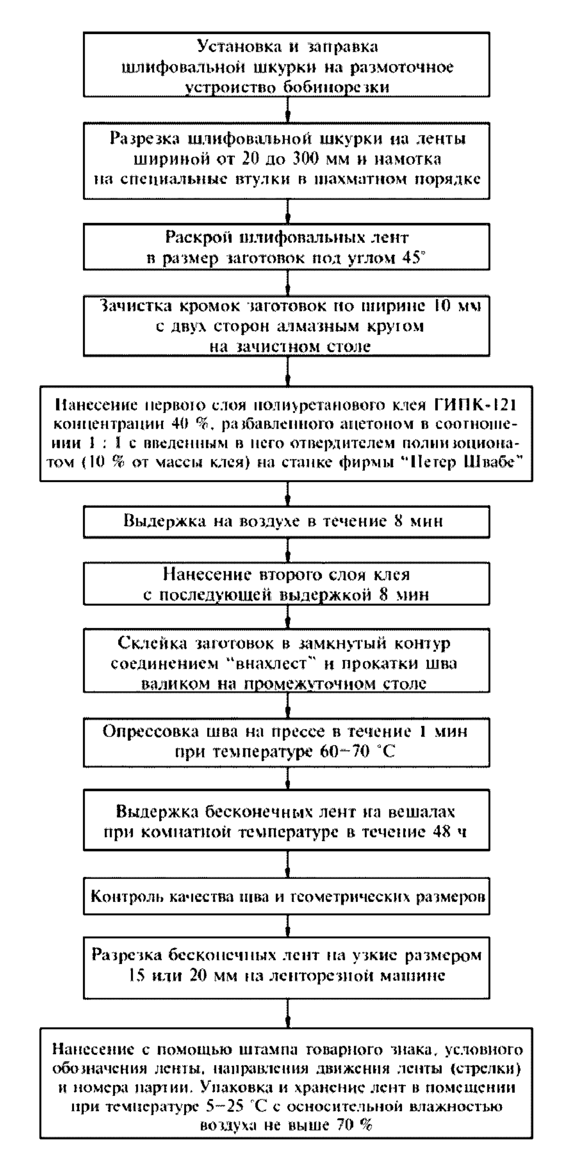


Рис. 8.16. Технологическая схема производства бесконечных шлифовальных лент для обработки лопаток из жаропрочных и титановых сплавов

Готовые бесконечные ленты помещаются на вешала для выдержки при комнатной температуре в течение 48 ч.

Каждая бесконечная лента подвергается визуальному осмотру на наличие дефектов на ее поверхности и качество склейки шва. Шов бесконечной ленты должен быть тщательно опрессован и проклеен по всей длине без пустот, отслоений, морщин и прижогов. Зазор в стыке шва не должен превышать 1 мм.

Бесконечные ленты размером 1920 × 180 (200) мм разрезаются на узкие бесконечные ленты с размером 1920 × 15 (20) мм на ленторезной машине отрезными ножами, установленными на наружный размер (15 или 20 мм).

Разрезанные узкие бесконечные ленты вешаются на вешала.

На нерабочей стороне бесконечной ленты с помощью штампа наносятся знаки: товарный знак предприятия-изготовителя; условное обозначение ленты; направление движения ленты (стрелки); номер партии.

Готовые узкие бесконечные ленты упаковываются и хранятся в помещении при температуре 5–25 °С и относительной влажности воздуха не выше 70 %.

Отдельные виды оборудования, применяемого при производстве бесконечных шлифовальных лент для обработки лопаток из жаропрочных и титановых сплавов, представлены на рис. 8.17–8.21 [437].

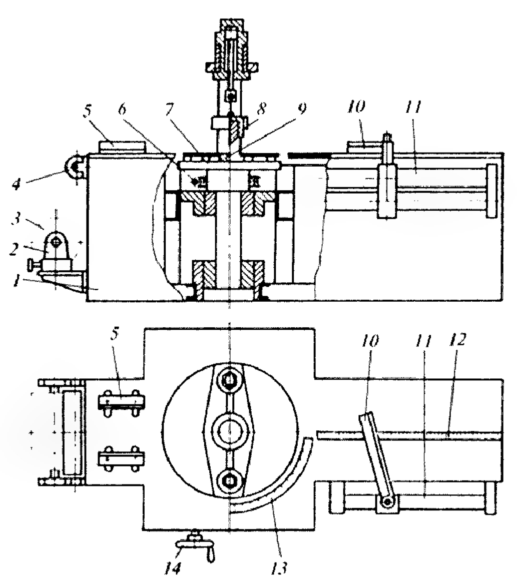


Рис. 8.17. Установка модели УРП-1 для раскроя шлифовальной шкурки:

1 — станина; *2* — размоточное устройство; *3* — рулон шлифовальной шкурки; *4* — направляющий вал; *5* — угольники; *6* — червячная передача; *7* — поворотный стол; *8* — подвижный нож; *9* — нижний неподвижный нож, *10* — поворотная планка; *11* — направляющие; *12* — линейка; *13* — шкала; *14* — маховик

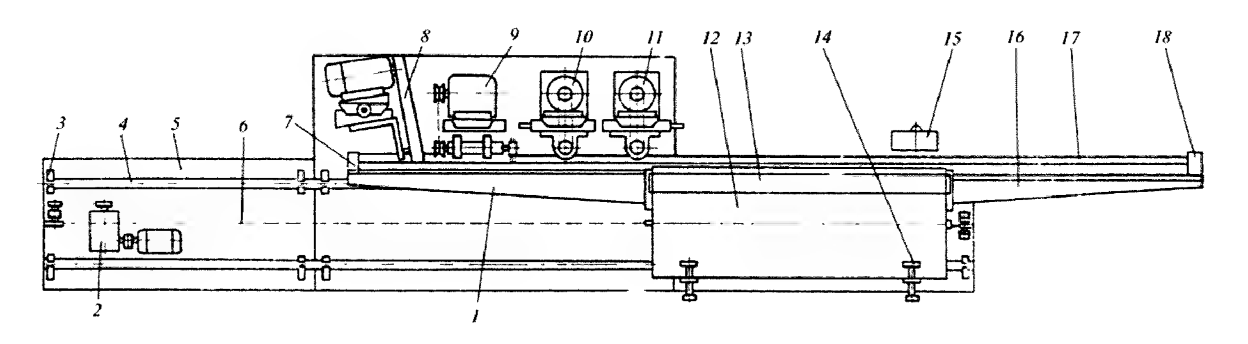


Рис. 8.18. Схема станка модели ЗШ-4 для зачистки кромок шлифовальной шкурки:

1 — кронштейн; *2* — привод; *3* — быстросъемный зажим; *4* — направляющие; *5* — станина; *6* — приводная цепь; *7* — зажим; *8* — головка с абразивной лентой; *9* — головка с дисковой металлической щеткой; *10*, *11* — головка с чашечным алмазным кругом; *12* — тележка; *13* — эксцентриково-рычажный зажим; *14* — упоры; *15* — пульт управления; *16* — кронштейн; *17* — сменная металлическая лента; *18* — натяжное устройство

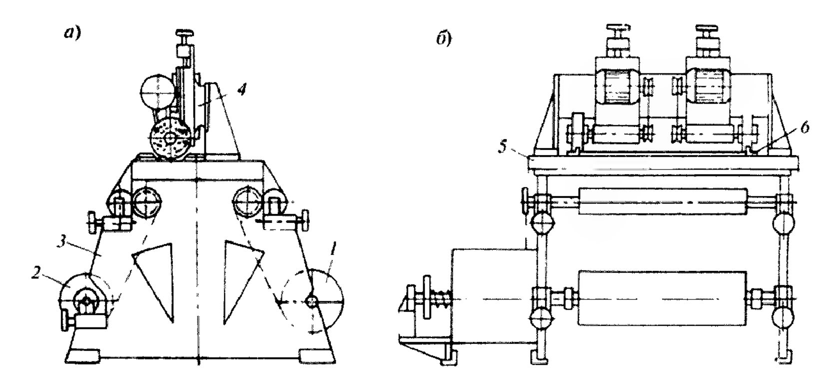


Рис. 8.19. Общий вид станка модели ЗШ для зачистки кромок шлифшкурки:
а — вид сбоку; *б* — вид спереди;
1 — намоточное устройство; *2* — размоточное устройство; *3* — станина;
4 — шлифовальное приспособление; *5* — подвижная каретка; *6* — направляющие

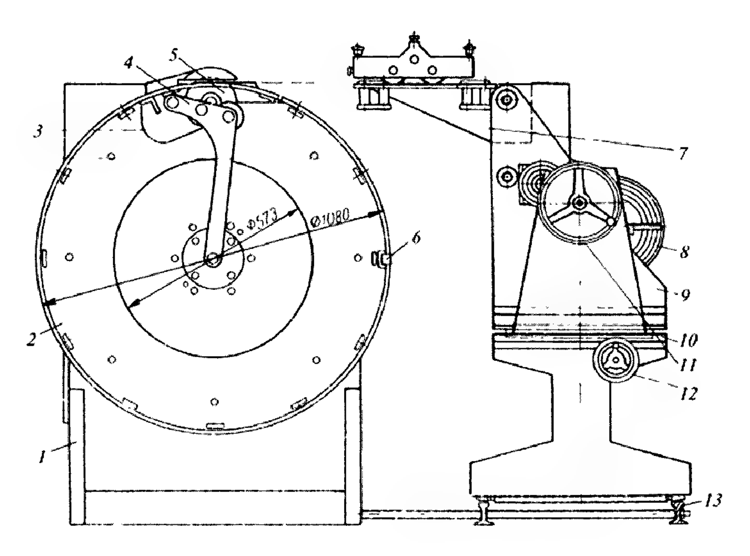


Рис. 8.20. Установка модели УЛС для склейки лент:
1 — станина; *2* — барабан склейки; *3* — сектор; *4* — рычаг; *5* — абразивный круг для отрезки; *6* — струбцина закрепления начала ленты; *7* — клеенаносящее устройство; *8* — рулон шлифшкурки; *9* — размоточное устройство; *10* — каретка; *11* — штурвал перемещения каретки; *12* — штурвал размоточного устройства; *13* — рельсовый путь

При раскрое рулонов шлифовальной шкурки на заготовки в зависимости от их размеров существует несколько типов устройств, незначительно отличающихся друг от друга. Наиболее типичным представителем является установка для раскроя шлифовальной шкурки на параллелограммы модели УРП-1, представленная на рис. 8.17, согласно которому рулон шлифовальной шкурки *3*, подвергаемый разрезке на заготовки, устанавливается на размоточное устройство *2*, закрепленное в левой нижней части станины *1*, а его конец через направляющий вал *4* и регулируемые в поперечном направлении угольники *5*, устанавливаемые симметрично продольной оси станка на размер ширины рулона шкурки, подается на поворотный стол *7* с закрепленным на нем нижним ножом *9*. На столе *7* установлены две направляющие колонки, по которым перемещается подвижный нож *8*, приводимый в действие пневмоцилиндром посредством рычажно-усиливаемой системы. Стол *7* с ножами с помощью червячной передачи *6* вручную маховиком *14* поворачивается на расчетный угол, устанавливаемый по шкале *13*. Поворотная планка *10* устанавливается параллельно ножам, передвигается по направляющим *11* на размер, равный длине отрезаемой заготовки и устанавливаемый по линейке *12*, и фиксируется.

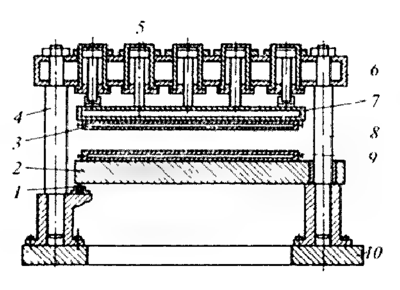


Рис. 8.21. Балочный пресс для склейки широких полировальных лент:
1 – роликовые упоры, *2* – нижняя траверса; *3* – верхняя прессующая планка; *4* – колонна; *5* – гидроцилиндры; *6* – поперечная балка, *7* – верхняя траверса; *8* – колонна; *9* – нижняя прессующая планка; *10* – основание

После настройки производится размотка шлифовальной шкурки, укладка ее на стол и отрезка первой кромки заготовки. Затем шлифовальная шкурка подается между ножами до упора отрезанной кромки *10* и отрезается. Все последующие заготовки отрезаются аналогичным образом.

Отрезанные заготовки подвергаются операции зачистки кромок, для выполнения которой в промышленности применяются как отечественные, так и зарубежные конструкции станков. Одним из них является станок модели ЗШ-4 (см. рис. 8.18) [437], позволяющий производить зачистку кромок со стороны как абразивного зерна, так и основы по длине кромки 2200 мм, что обеспечивает зачистку кромок заготовок для широких лент или одновременную зачистку нескольких заготовок узких лент. Схема работы станка ЗШ-4 следующая. На станине *5* сварной конструкции, состоящей из трех частей, жестко соединенных между собой, при помощи быстросъемных зажимов закреплены направляющие цилиндрической формы *4*, по которым посредством желобчатых роликов перемещается тележка *12*, снабженная эксцентриково-рычажным механизмом *13* и регулируемыми по длине упорами *14*. Тележка цепью *6* связана с приводом *2*, расположенным в станине и натяжной звездочке. На тележке установлены два кронштейна *1* и *16*, оборудованные зажимом *7* и натяжным устройством *18*, крепящими сменную металлическую ленту *17*. На станине установлены четыре рабочие головки: головки с алмазными чашечными кругами

10 и *11*; головка с дисковой металлической щеткой *9* и головка с абразивной лентой *8*. В целях регулирования ширины зачищаемых кромок головки могут перемещаться в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном ходу тележки, и регулироваться по высоте. Для удаления пыли из рабочей зоны станок снабжен индивидуальным пылесосом модели ЗИЛ-900. Управление станком осуществляется с подвесного пульта *15*.

Отрезанную заготовку укладывают на тележку, выравнивая кромку, противоположную зачищаемой, по упорам, отрегулированным и выставленным в зависимости от ширины заготовки зачищаемой кромки, и прижимают зажимом. Включают приводы головок и затем тележки, которая, начиная перемещаться, подает заготовку под предварительно настроенные головки. Эта операция контролируется либо визуально, либо с помощью индикаторов. Первый алмазный круг должен снимать 0,5 толщины абразивного слоя, второй — оставшуюся часть абразивного слоя до ткани (не нарушая ее), щетка *9* должна выдирать оставшийся на ткани аппрет, а абразивная лента *8* — зачищать кромку на "ус" и поднимать ворс. По прохождении тележкой одного рабочего хода заготовка считается зачищенной, снимается с тележки и последняя отправляется в исходное положение. При использовании для склейки различных швов возникают соответственно различные варианты зачистки кромок как со стороны абразивного слоя, так и с противоположной стороны. Раздельное регулирование и включение головок позволяют широко манипулировать ими для выполнения этих вариантов. Кроме описанного станка в промышленности используются станки фирмы Peter Schwabe (Германия), отличительной особенностью которых является то, что в них перемещается не зачищаемая заготовка, а обрабатывающие головки.

Конструкция второго варианта станка модели ЗШ для зачистки кромок (см. рис. 8.19) [437] позволяет обрабатывать в автоматическом цикле одновременно две кромки абразивной ленты и обеспечивает постоянство ширины зачищаемых кромок.

Техническая характеристика станка модели ЗШ

Ширина шлифовальной шкурки, мм	780–880
Ширина зачищаемой кромки, мм	0–15
Скорость вращения режущего круга, об/мин	3000
Скорость движения шлифшкурки, м/мин	1,2
Ход стола, мм	50
Ход круга в вертикальном положении, мм	20

Размоточное устройство оборудовано регулируемым тормозом, с помощью которого можно создать необходимое натяжение ленты. Намоточный и тянущий валы имеют одинаковые угловые скорости. Во время работы станка при намотке ленты на намоточный вал увеличивается диаметр рулона и, следовательно, линейная скорость ленты на рулоне. В то же время тянущий вал пропускает ленту с прежней линейной скоростью. Поэтому на участке тянущий вал — намоточный вал натяжение ленты нарастает, что может привести к ее обрыву. Во избежание этого необходимо уравнять линейные скорости ленты на намоточном и тянущем валах, что достигается уменьшением числа оборотов намоточного вала пропорционально увеличению радиуса рулона. Для устранения натяжения намоточный вал снабжен муфтой проскальзывания.

Шлифовальная шкурка с размоточного устройства поступает на подвижную каретку со шлифовальным приспособлением, закрепленным на такой высоте, что в момент прохождения шлифовальной шкурки с нее снимается слой зерна и клея.

В качестве режущего инструмента применяются алмазные круги, охлаждаемые углекислотой.

На рис. 8.20 представлена схема установки для склейки лент модели УСЛ, согласно которой на станине *1* установлен барабан склейки *2*, получающий вращение от привода, размещаемого внутри станины. На барабане склейки установлен сектор *3*, опускаемый рычагом *4* и позволяющий ослаблять натяжение ленты после склейки и легко снимать ее с барабана. По рельсовому пути *13* с помощью штурвала *11* перемещается каретка *10* с размоточным устройством *9* с установленным на нем рулоном *8* шлифовальной шкурки с зачищенными кромками. На боковой стенке размоточного устройства закреплено устройство *7* для нанесения клея на зачищенную кромку шлифовальной шкурки. Клеенаносящий валик получает вращение в результате контакта со шлифовальной шкуркой, перемещающейся с размоточного устройства на барабан склейки и закрепленной на нем струбциной *6*. Угол разворота размоточного устройства устанавливается штурвалом *12*. Обрезка склеенной ленты производится абразивным кругом *5* по торцу барабана.

Техническая характеристика установки для склейки лент модели УСЛ

Диаметр барабана склейки, мм	830
Длина склеиваемой ленты (развертка), мм	2620
Ширина склеиваемой ленты, мм	1920
Скорость вращения барабана, об/мин	0,5
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	4230 × 2000 × 1420

Для склейки лент с размерами, не указанными в технической характеристике, предусмотрены склеенные барабаны, соответствующие размерам длины и ширины бесконечной ленты.

Для опрессовки склеиваемых швов бесконечных лент применяют различные типы прессов: гидравлические, пневматические, с использованием ТВЧ и т. д. Наибольшего внимания заслуживают прессы для склейки широких шлифовальных лент. Для этой цели существуют балочные и роликовые прессы.

Балочный пресс (см. рис. 8.21) [437] включает основание *10* с закрепленными на нем двумя колоннами *4* и *8*. Вверху колонны замыкаются неподвижной поперечной балкой *6*, несущей на себе гидроцилиндры *5*. На штоках гидроцилиндров повешена верхняя траверса *7*, снабженная прессующей планкой *3*, нагреваемой электронагревателями. В нижней части пресса расположена поворачивающаяся вокруг колонны нижняя траверса *2*, выполненная в виде консольной балки. Находясь в рабочем положении, свободным концом траверса *2* опирается на роликовые упоры *1*, закрепленные на второй колонне. На траверсе закреплена нижняя прессующая планка *9*, нагреваемая электронагревателями. Заданная температура планок *3* и *9* поддерживается при помощи терморегуляторов.

Для снятия готовой шлифовальной ленты с пресса нижняя траверса поворачивается вокруг колонны на 30°. Существенным недостатком этого пресса является повышенное требование к геометрии и шероховатости прессующих

планок, что довольно сложно выполнить при их ремонте, учитывая, что длина планок превышает 2000 мм.

Незначительный износ или отклонения от плоскости и параллельности прессующих планок вызывают непропрессовку швов на отдельных участках, что значительно снижает прочность швов, а следовательно, и стойкость ленты.

Этот недостаток устранен на роликовом прессе, принципиальным отличием которого является то, что прессование на нем осуществляется катящимся роликом, закрепленным на каретке перемещаемой возвратно-поступательно вдоль верхней траверсы двухштоковым гидроцилиндром, штоки которого жестко закреплены на траверсе, а гильза — на каретке. Подъем, опускание верхней траверсы с роликом, а также ее поджим в момент прессования осуществляются гидроцилиндрами. При прессовании ролик контактирует с гибкой лентой из пружинной стали, накладываемой на прессуемый шов. Благодаря тому что усилие прессования на роликовом прессе передается не на всю площадь склеиваемого шва сразу, а только на постоянно перемещающийся вдоль шва линейный контакт, создаваемый роликом, для обеспечения максимального давления прессования, равного $(3-4)10^7$ Па при ширине шва 1,0—1,5 см, достаточно иметь на ролике усилие 8—10 кН, которое не зависит от длины шва. В то же время при прессовании, например, шва шириной 1,5 см, длиной 200 см при давлении прессования $4 \cdot 10^7$ Па на балочном прессе нужно создать общее усилие, равное 0,1—1 МН. Этим объясняются уменьшенные габаритные размеры роликового пресса по сравнению с балочным, существенным недостатком которого является более низкая производительность (в 1,2—1,5 раза) по сравнению с балочным прессом.

Лепестковые шлифовальные круги

Лепестковые шлифовальные круги (рис. 8.22) изготавливаются по ГОСТ 22775—77 из тканевых шлифовальных шкурок (ГОСТ 5009—82 и ГОСТ 13344—79) двух типов: КЛ (шлифовальные круги без оправок) и КЛО (с оправками) и предназначены для обработки профильных поверхностей, снятия заусенцев, — шлифования и полирования [438].

Рабочие органы этих кругов — абразивные лепестки, вырубаемые из шлифовальной шкурки. Ценным качеством лепестковых кругов является то, что они хорошо сочетают жесткое крепление абразива и высокую эластичность в радиальном и тангенциальном направлениях. Существуют разработки лепестковых кругов (более 30 авторских свидетельств СССР и России) с механическим креплением лепестков (в этом случае круг можно считать разборным) или с лепестками, закрепленными при помощи эпоксидных клеев с наполнителями (в этом случае круг можно считать неразборным) с оправками или отверстиями под оправку (рис. 8.23).

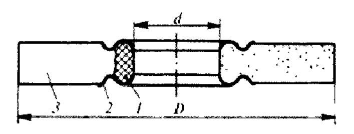


Рис. 8.22. Конструкция лепесткового круга:
1 — корпус круга (заливка эпоксидной смолой); 2 — металлический фланец; 3 — лепестки

Расположение лепестков в лепестковом круге в месте их крепления должно быть

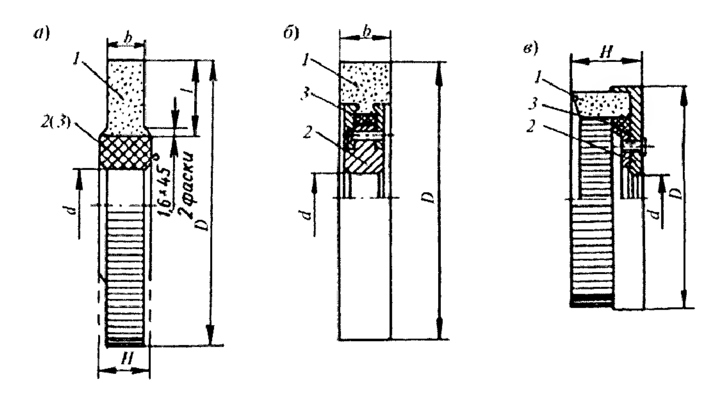


Рис. 8.23. Конструкции сборных и неразборных лепестковых кругов:
а — неразборный круг, работающий периферией со ступицей из клеевой композиции; *б* — неразборный круг, работающий периферией со съемной ступицей; *в* — сборный круг, работающий торцем; *1* — лепесток; *2* — ступица; *3* — клеевая композиция

радиальным, а лепестки делаются отогнутыми в сторону, противоположную рабочему вращению круга.

На рис. 8.24 представлен разборный лепестковый круг диаметром 350 мм и шириной рабочей части 50 мм [438]. Он состоит из алюминиевого корпуса *1*, на котором надеты две обоймы: левая *2* и правая *3*, изготовленные из легкого сплава и имеющие посадочные места — буртики. Лепестки *5* равномерно набираются

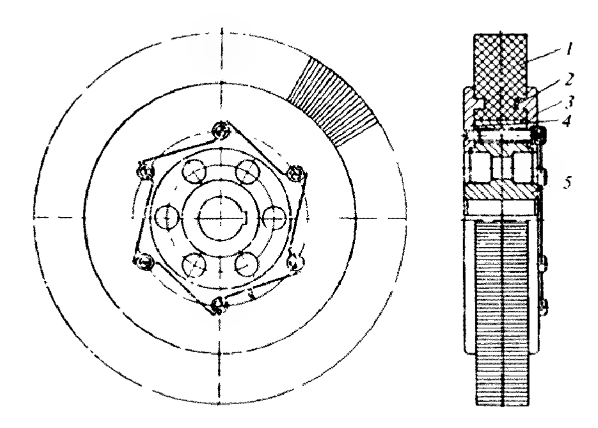


Рис. 8.24. Конструкция разборного лепесткового круга диаметром 350 мм:
1 – лепесток; *2* — кольцо; *3*, *4* — левая и правая обоймы;
5 — корпус

по окружности между левой и правой обоймами, которые стягиваются с корпусом шестью стальными винтами. Под выступающий буртик правой обоймы устанавливают стальное кольцо *2* толщиной 2 мм. Корпус круга *5* имеет посадочное отверстие диаметром 40 мм под вал скользящей посадки и шпоночный паз, предотвращающий проворачивание круга.

Для придания кругу большей эластичности через определенное число лепестков ставится картонная прокладка. Количество и толщина лепестков зависят от зернистости шкурки. Чем меньше размер абразивной фракции, тем меньше должны быть лепестки и тем большее количество их следует набирать в корпус лепесткового круга. При этом толщину прокладок необходимо соответственно уменьшить, а количество лепестков между прокладками увеличить. Для предотвращения вырывания из обоймы во время работы круга лепестки должны быть плотно набраны, проклеены и просушены.

Технология изготовления лепестковых кругов включает в себя следующие операции: вырубка лепестков из шлифовальной шкурки; двухстороннее нанесение клея на лепестки; сборка и склеивание лепестков и запрессовка металлических фланцев или заливка ступицы из эпоксидной композиции.

Вырубку лепестков осуществляют на стандартных прессах всевозможных моделей усилием до 50 кН, оснащенных специальными вырубными штампами. Запрессовку металлических фланцев осуществляют при помощи обычных штампов, применяемых для штамповки металла.

При производстве лепестковых кругов из шлифовальной шкурки механизмы рубки-укладки лепестков и сборки заготовок кругов предусматривают облойную рубку лепестков, при которой 10–30 % высококачественной шкурки идет в отходы, а операция сборки осуществляется с помощью ручного труда с приспособлением для набора и приклеивания лепестков (рис. 8.25).

Авторами [439] разработана и внедрена на одном из заводов установка механизированной сборки заготовок лепестковых кругов (рис. 8.26).

Техническая характеристика установки

Производительность установки	
сборка кругов диаметром 90 мм, кругов/ч	40
Рабочее давление воздуха, Па	$(3{,}5-6{,}0)10^5$
Напряжение, В	220/380
Частота, Гц	50
Потребляемая мощность, кВт	0,5
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	1000 × 500 × 800
Масса, кг	280

Особенностью установки является возможность безоблойной рубки лепестков и формирование круга с помощью гибкого элемента (струна, лента), закрепленного одним концом на упоре. На рис. 8.27 показана схема механизма сборки заготовок кругов.

Допустимая неуравновешенная масса по ГОСТ 3060–86 лепестковых кругов типа КЛ с предельной рабочей скоростью 40 м/с должна соответствовать классам неуравновешенности: 2 — для диаметра $D \leq 300$ мм; 3 — для $D \geq 300$ мм; с рабочей скоростью свыше 40 м/с: 1 — для диаметра от 100 до 175 мм; 2 — для диаметра, равного или меньшего 300 мм; 3 — для диаметра более 300 мм.

При маркировке лепестковых кругов указывается их рабочая скорость.

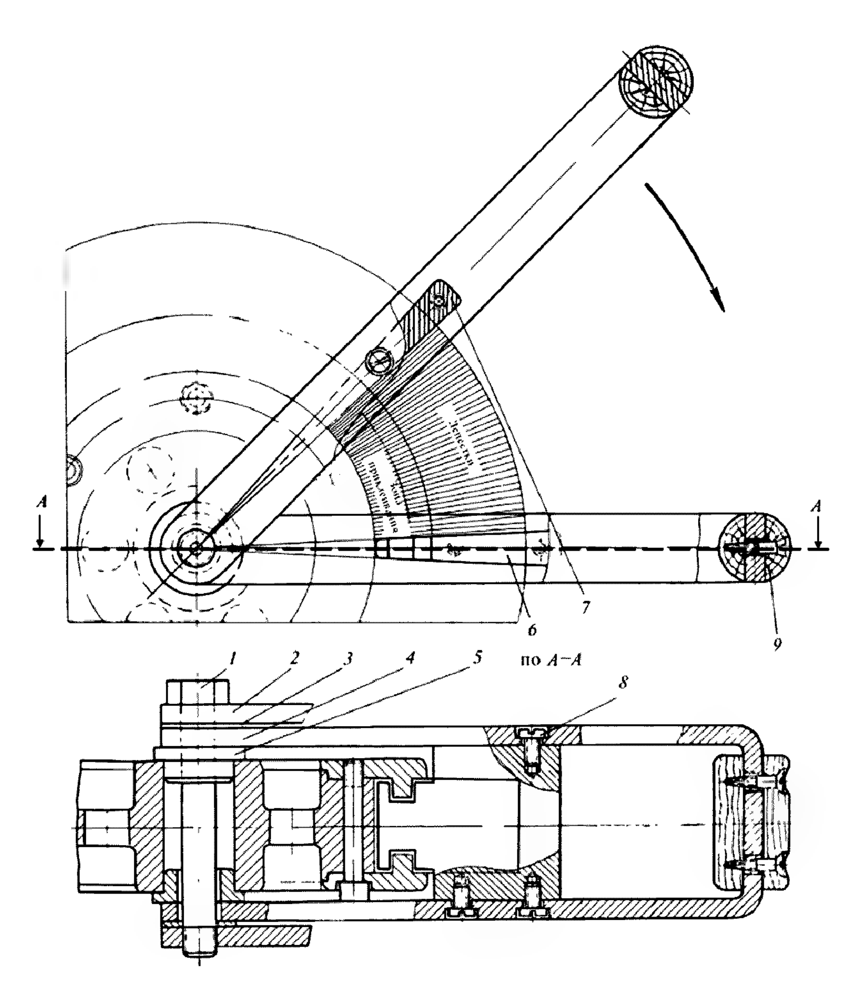


Рис. 8.25. Приспособление для набора и приклеивания лепестков вручную:
1 — болт; *2* — вилка наружная; *3* — шайба; *4* — вилка внутренняя; *5* — втулка; *6*, *7* — щеки; *8* — винт; *9* — накладка

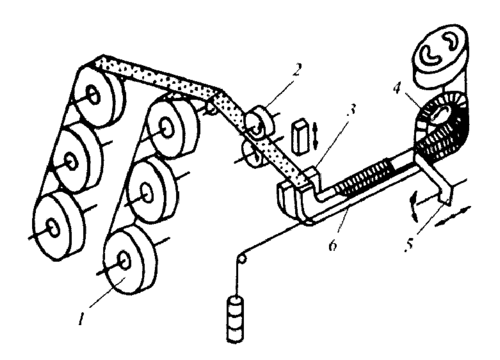


Рис. 8.26. Схема установки механизированной сборки лепестковых кругов:

1 – узел размотки бобин; *2* – узел отмеривания и подачи полос; *3* – механизм рубки и укладки лепестков; *4* – формообразователь заготовки лепесткового круга; *5* – отсекатель мерного пакета лепестков; *6* – желоб для продвижения пакета лепестков

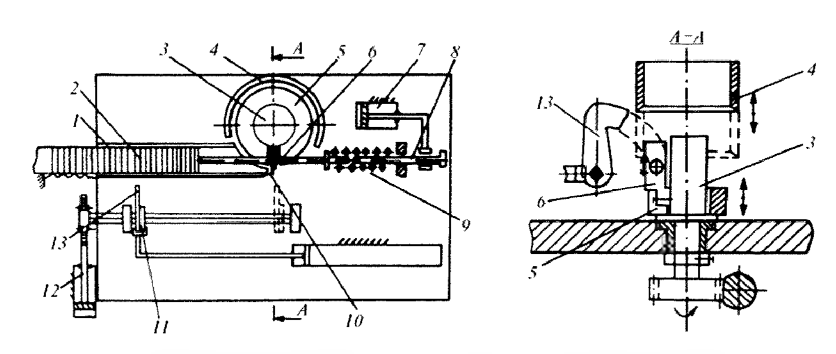


Рис. 8.27. Схема механизма сборки заготовок лепестковых кругов:

1 – желоб; *2* – толкатель лепестков; *3* – сердечник; *4* – форма; *5* – толкатель; *6* – упор; *7*, *12* – пневмоцилиндры; *8* – шток; *9* – пружина; *10* – гибкий элемент; *11* – каретка; *13* – отсекатель

Пример условного обозначения лепесткового шлифовального круга типа КЛО с наружным диаметром D = 80 мм, высотой H = 20 мм, диаметром оправки d = 6 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 10, из шлифовальной шкурки по ГОСТ 5009–82 на саржe средней № 2 гладкоокрашенной:

КЛО 80·20·6 14А 10 А 2С2 ГА ГОСТ 22775–77.

Эластичные круги

Шлифование меди и ее сплавов, а также медных покрытий, полученных гальваническим осаждением или напылением, связано со значительными трудностями. Из-за высокой вязкости частицы материала налипают на площадки износа абразивного зерна, и стружка попадает между зернами и в неровности связки. Налипшие на рабочую поверхность инструмента частицы меди, взаимодействуя с обрабатываемым материалом, препятствуют получению регулярного микрорельефа.

Шлифование омедненных валов бумагоделательных машин производится на токарных станках, оборудованных приспособлениями для обработки абразивными лентами. Однако низкая стойкость лент и невысокое качество обработки обусловливают широкое применение ручной зачистки шкурки с помощью простейших приспособлений.

Для улучшения качества обработки омедненных валов и повышения производительности труда на этой операции были применены эластичные шлифовальные круги [440] диаметром 250 мм (рис. 8.28), состоящие из алюминиевого или текстолитового корпуса (с наклеенной резиновой подложкой) и из элементов крепления абразивной ленты. Последние бывают в виде простейших накладок, укрепляемых винтами, либо в виде специальных барабанов, позволяющих осуществлять как крепление, так и натяжение ленты. Круги с накладками целесообразно применять на черновых операциях, когда стойкость ленты мала и требуется частая замена.

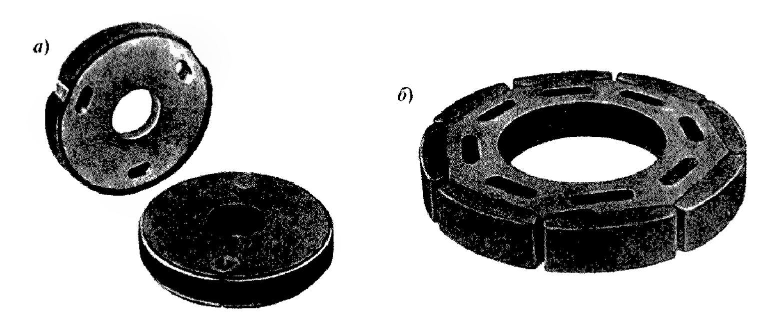


Рис. 8.28. Эластичные шлифовальные круги:
а — эластичные круги диаметром до 400 мм для работы на токарном станке;
б — эластичные шлифовальные круги для работы на шлифовальном станке

Круги диаметром 400 и 600 мм (см. рис. 8.28, *б*) выполнены сборными и состоят из корпуса и сменных сегментов, покрытых резиной и обтянутых абразивной лентой. Такая конструкция позволяет реализовывать преимущества эластичного и прерывистого шлифования.

При обработке омедненных валов для бумагоделательного машиностроения (диаметр 370 мм, длина 5,2 м) продолжительность шлифования эластичными кругами составляет 8 ч против 32 ч по существующей технологии при значительном улучшении качества обработки.

Сравнительно малая толщина покрытия валов не позволяет применять промежуточные люнеты, поэтому шлифование обычным кругом невозможно из-за сильной вибрации вала.

Применение эластичных шлифовальных кругов, оснащенных стандартными абразивными шкурками, при шлифовании меди существенно повышает производительность труда, снижает расход абразивных материалов и обеспечивает высокое качество обработки.

Диски шлифовальные фибровые

Фибровые шлифовальные диски являются гибким абразивным инструментом, представляющим собой фибровую основу с абразивным слоем, закрепленным на одной из ее сторон при помощи клеящего вещества, изготавливаются по ГОСТ 8692—82 и предназначаются для шлифования различных материалов без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Выпускаются фибровые диски двух типов: 1) для шлифования неметаллов, цветных металлов и сплавов; 2) для шлифования сталей, коррозионностойких жаропрочных сплавов.

Фибровые диски (рис. 8.29) изготавливаются восьми типоразмеров с наружным диаметром от 60 до 225 мм и диаметром отверстия 6 и 22 мм.

Для производства шлифовальных дисков в качестве основы используется специальная фибра по ГОСТ 12456—83 толщиной 0,7—1,0 мм и импортная производства фирмы "Динамит Нобель" (Швеция).

Шлифовальным материалом, наносимым на диски, служит нормальный и легированный электрокорунды (зернистости 125; 80; 50; 40; 25; 16; 12; 10). Предусматривается применение и других шлифовальных материалов.

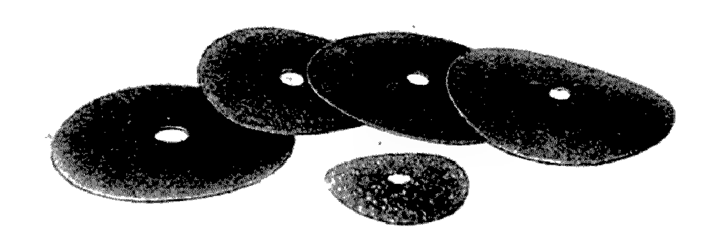


Рис. 8.29. Шлифовальные фибровые диски

При производстве фибровых дисков используются связки двух видов: органическая — жидкий бакелит (Б) и фенолформальдегидная смола (Л) и неорганическая — жидкое натриевое стекло (С).

Технология изготовления фибровых дисков заключается в следующем. На одну из сторон фибровой ленты посредством валиков наносится тонкий слой клея. Затем на покрытую слоем клея основу наносится абразивное зерно (излишнее абразивное зерно стряхивается), подсушивается и проходит на подклеечный аппарат, где на нее наносится второй слой клея; для подклейки берется клеевой раствор более низкой вязкости. Затем лента снова просушивается, и после этого на специальном устройстве вырубают диски, которые поступают в сушильную камеру, где клей затвердевает и зерно закрепляется на основе.

Вырубку фибровых дисков осуществляют штампами, принцип действия которых аналогичен принципу действия штампов для вырубки лепестков на прессах, аналогичных описанным выше.

При изготовлении фибровых дисков наиболее эффективным методом нанесения абразивного зерна на основу является электростатический способ.

Для изготовления фибровых дисков из листовой фибры на одном из заводов сконструирована, изготовлена и внедрена электростатическая камера для нанесения абразивного материала на листовую фибру непрерывным способом (рис. 8.30) [441].

Контроль качества шлифовальных фибровых дисков проводится по следующим показателям: размеры, овальность, смещение оси отверстия диска относительно номинального расположения, выпуклость, вогнутость, неравномерность толщины, влажность.

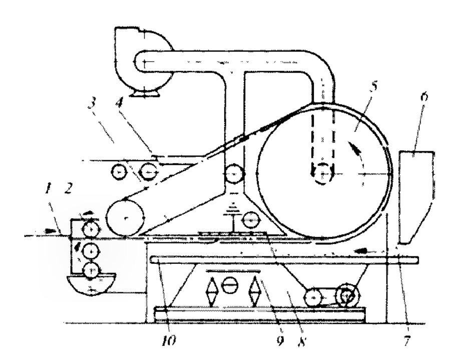


Рис. 8.30. Схема электростатической камеры для нанесения абразивного зерна на листовую фибру:
1 — лист основы — фибра; *2* — валковое устройство; *3* — вакуумный стол; *4* — вакуумный транспортер; *5* — вакуумный барабан; *6* — бункер; *7* — абразивное зерно; *8, 9* — электроды; *10* — вибрационный стол

Размеры, внешние дефекты рабочей поверхности, выпуклость, вогнутость, овальность диаметра и смещение оси отверстия диска относительно номинального расположения контролируют универсальными средствами измерения.

Овальность диаметра определяют как полуразность между максимальным и минимальным диаметрами, замеренными в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Она не должна превышать 0,6 мм для фибровых дисков с зернистостью нанесенного на них шлифматериала 50 и мельче и 1,0 мм для фибровых дисков зернистостью 80–40.

Смещение оси отверстия диска относительно номинального расположения определяют как максимальную полуразность ширины колец, замеренных в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Смещение не должно превышать 0,3 мм для фибровых дисков зернистостью шлифматериала 50 и мельче и 0,4 мм для фибровых дисков зернистостью 80–40.

Неравномерность толщины определяют микрометром на расстоянии не менее 5 мм от кромки по диаметру контролируемого диска не менее чем в 10 точках. Неравномерность толщины определяют как разность между максимальным и минимальным значениями диска. Контроль производят на трех дисках и за результат испытаний принимают среднеарифметическое значение.

Неравномерность толщины диска не должна превышать для дисков зернистостью, мм: 80 — 0,40; 63 — 0,35; 50, 40 — 0,2; 25 — 0,14; 16 — 0,12.

Метод определения влажности основан на определении потери массы образца диска при высушивании его до постоянной массы при температуре 130±6 °С.

Влажность диска B в процентах определяют по формуле

$$B = [(m_1 - m_2)/m_1]100,$$

где m_1 — масса образца до высушивания, г; m_2 — масса образца после высушивания, г.

Влажность диска определяется как среднее арифметическое значение из трех определений. Влажность диска не должна превышать 2,0–4,5 %.

Определение режущей способности фибровых дисков производится путем шлифования узкой грани плоского образца диском, опирающимся на металлическую планшайбу с рабочей фаской, имеющей угол, равный углу установки диска с планшайбой. Производится цикл шлифования узкой грани заготовки, а затем шлифуемая заготовка взвешивается. Устанавливаются следующие режимы испытаний (табл. 8.35).

Таблица 8.35

Режимы испытаний при определении режущей способности фибровых дисков

Зернистость шлифматериала	Частота вращения дисков, с$^{-1}$	Усилие прижима диска к заготовке, Н	Скорость продольной подачи шлифуемой заготовки, мм/мин	Угол установки диска с планшайбой	Продолжительность цикла, с	Критерий стойкости (минимальный съем металла за цикл), г
80; 63	35,8±0,8	78,0	1620±50	15°±3'	60±0,5	7
50; 40	35,8±0,8	68,7	1620±50	15°±3'	60±0,5	7
25	35,8±0,8	58,9	1620±50	15°±3'	60±0,5	6
16	35,8±0,8	49,0	1620±50	15°±3'	60±0,5	5

Режущая способность Q в граммах в минуту определяется по формуле

$$Q = q_1/t,$$

где q_1 — масса сошлифованного эталонного материала за первый цикл шлифования, г; t — время шлифования, мин, t = 1 мин.

Режущая способность фибровых дисков должна быть не менее значений, г/мин: для дисков, изготовленных из шлифматериалов зернистостью 80 — 11; зернистостью 63 — 12; зернистостью 50 — 13; зернистостью 40 — 14; зернистостью 25 — 13.

Определение показателя прочности закрепления абразивных зерен K производится по той же методике, что и для шлифовальных шкурок.

Таблица 8.36

Значения показателя прочности закрепления абразивных зерен (*K*) для фибровых дисков

Зернистость шлифматериала	*K*	
	1	2
80	От 1,7 до 4,0	Свыше 4,0
63	От 1,9 до 4,2	Свыше 4,2
50	От 3,3 до 11,0	Свыше 11,0
40	От 5,0 до 13,0	Свыше 13
25	От 7,0 до 15,0	Свыше 15,0
16	От 9,0 до 17,0	Свыше 17,0

Значения показателя прочности закрепления абразивных зерен *K* должны соответствовать данным в табл. 8.36.

8.12. Области применения шлифовальной шкурки и изделий из нее

Ленточное шлифование широко применяется в автомобиле-, авиа- и судостроении, в металлургической, энергетической, подшипниковой, деревообрабатывающей промышленности и других отраслях на всех стадиях технологического процесса изготовления деталей: для обработки круглых наружных и внутренних поверхностей плоских и сложных (в том числе и криволинейных) поверхностей заготовок — крупногабаритных отливок, поковок, листов, полос, длинномерных труб различного диаметра, кулачковых и коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, турбинных лопаток, деталей фасонного профиля из титановых и жаропрочных сплавов, дорожек колец шарико- и роликоподшипников, судовых гребных винтов диаметром до 6 м, предметов культурно-бытового и хозяйственного назначения (ложек, вилок) и т. д. [442–450].

Преимущества ленточного шлифования — постоянство скорости резания, гибкость и упругость бесконечной ленты, возможность обработки большой поверхности заготовки. Кроме того, в зависимости от технологических параметров бесконечная лента может работать в различных режимах: в режиме жестко закрепленного инструмента и в режиме исключительной податливости и самоориентации, что позволяет полнее использовать режущие свойства

абразивных зерен. Большая площадь контакта бесконечной ленты с заготовкой, большое число активно работающих зерен и в два-три раза меньший коэффициент трения связки в шкурке по металлу по сравнению, например, с керамической связкой в круге снижают силы резания и теплонапряженность процесса и обеспечивают достаточно высокую производительность труда. Оборудование для работы лентами отличается простотой кинематики и конструкций, легко агрегатируется и автоматизируется.

Ленты не требуют правки и балансировки, легко и быстро заменяются в случае износа, безопасны при эксплуатации.

Водостойкая шлифовальная шкурка (на саржe утяжеленной) из нормального электрокорунда зернистостей 25, 16, 12 и 8 применяется на шлифовально-полировальных агрегатах при чистовой обработке холоднокатаных термообработанных листов из сталей марок 12Х18Н10Т и ЭИ878 при скорости продольной подачи 6 м/мин, натяжении ленты 0,245–0,343 МПа; в качества СОЖ применяется технологическое масло [451].

При шлифовании рулонной стали марок 29НК и 08Х15Н5Д2Т со скоростью 8–14 м/с неводостойкой шлифовальной шкуркой из нормального электрокорунда зернистостью 25, 16, 12, 10 и 8 достигается шероховатость поверхности R_a, равная 0,32 мкм.

При чистовой обработке листов из горячекатаной термообработанной стали марки 12Х18Н10Т на станке фирмы Škoda (Чехия), станках с жестким столом и тянущими роликами фирмы Hell-Acme (США) применяется неводостойкая шлифовальная шкурка из нормального электрокорунда зернистостью 32 (режимы шлифования представлены в табл. 8.37), при этом по стойкости и наработке шкурка находится на уровне лучших зарубежных образцов, шероховатость обработанной поверхности R_a составляет 0,34–0,2 мкм.

На предприятиях авиационной промышленности на операциях ленточного шлифования профиля пера лопаток турбин из жаропрочных сплавов применяется неводостойкая шлифовальная шкурка из нормального электрокорунда зернистостями 32 и 50, а при шлифовании профиля пера лопатки из титанового сплава — водостойкая шлифовальная шкурка из карбида кремния черного зернистостью 40 [452].

В электронной промышленности на операции чистовой обработки экранов кинескопов цветного изображения применяется неводостойкая шлифовальная шкурка из черного карбида кремния зернистостью М28, режущая способность которой составляет 8,0 г/мин.

Таблица 8.37

Режимы ленточного шлифования листового проката

Фирма	Скорость		Натяжение ленты, МПа	Тип СОЖ
	ленты, м/с	подачи листов, м/мин		
Škoda (Чехия)	25	6,0	0,26–0,41	Водная эмульсия
Hell-Acme (США): станок с жестким столом	25	12,0	0,25	Технологическое масло ШП
станок с тянущими роликами	25	7,9	0,26–0,33	То же

На предприятиях деревообрабатывающей промышленности при обработке древесно-стружечных плит и других крупногабаритных деталей из дерева применяются широкие ленты на комбинированной основе из черного карбида кремния зернистостями 40, 25 и 16 по ТУ 2-036-853–80.

На рис. 8.31 приведены принципиальные схемы основных применяемых видов ленточного шлифования. Во всех случаях обработка производится движущейся с постоянной скоростью бесконечной лентой, натянутой на вращающиеся

Плоское шлифование с контактным элементом		Плоское шлифование свободной ветви
в виде плиты или ролика	в виде натяжного шкива	

Круглое наружное шлифование		Бесцентровое шлифование	
на свободной ветви	с контактным элементом	с ведущим кругом	с ведущей лентой

Внутреннее шлифование		
длинных отверстий	на свободной ветви	с контактным элементом

Профильное шлифование		
на свободной ветви	с эластичным контактным элементом	с копиром

Рис. 8.31. Основные принципиальные схемы ленточного шлифования

ролики и шкивы, которая прижимается к обрабатываемой поверхности контактными элементами в виде профильной плиты, ролика, диска или копира (рис. 8.32).

Выбор характеристик шлифовальной шкурки для лент и бесконечных лент определяется обрабатываемым материалом, видом обработки и техническими требованиями к заготовке.

Вид применяемой операции шлифования (черновая, чистовая или полировальная) определяет выбор зернистости шлифматериала. Для черновых операций рекомендуются в зависимости от обрабатываемого материала зернистости 125–25, для чистовых – 25–6, для полировальных – 6–М14. Ленты и бесконечные ленты с зернистостью шлифматериала 50–25 могут обеспечить шероховатость поверхности R_a до 0,63 мкм, зернистостью 16–5 – до 0,16 мкм, зернистостью 4–40 – до 0,08 мкм.

Рекомендуемые характеристики шлифовальной шкурки для изготовления лент в зависимости от вида обрабатываемого материала и вида операции представлены в табл. 8.38.

Бобины наиболее широкое применение имеют в машино- автомобиле-, тракторостроении, подшипниковой и других отраслях для предварительного и окончательного шлифования коренных, шатунных шеек, торцев и радиусов галтелей коленчатых, распределительных валов и других заготовок и применяются в основном при круглом наружном шлифовании.

Шлифовальные диски применяются в судостроении для обработки гребных винтов, в автомобилестроении – для обработки предварительных покрытий (грунтовой, шпатлевок) и подготовки поверхности под окончательные защитно-декоративные покрытия (лаком, краской и др.), а также для обработки заготовок из пластмассы, резины, камня, древесины.

В качестве стационарных установок, на которых применяются диски и бобины, используются самые разнообразные станки, например универсальные, токарные и др. Наиболее распространено использование бобин на автоматических линиях. Для применения шлифовальных дисков используются различные контактные элементы, основными из которых являются планшайбы (стальные, алюминиевые и др.) или наборы дисков различных диаметров из текстолита, резины, технической фибры и других материалов.

Рекомендации по выбору характеристики шлифовальных дисков из шкурки и режимы обработки различных материалов представлены в табл. 8.39.

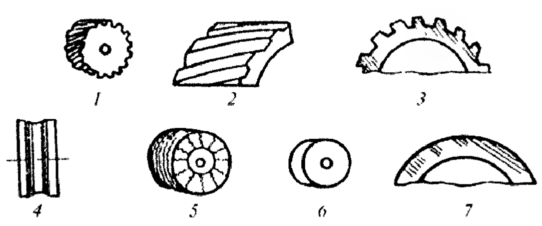


Рис. 8.32. Контактные ролики:

1 – резиновые рифленые, *2* – резиновые рифленые косозубые; *3* – резиновые рифленые прямозубые; *4* – профильные металлические; *5* – сборные; *6* – гладкие металлические; *7* – гладкие резиновые

Таблица 8.38

Рекомендации по выбору характеристик тканевой шкурки в виде лент и бобин и режимов обработки различных материалов

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Шлифовальный материал	Зернистость	Связка	Режим обработки		СОЖ
					Скорость резания, м/с	Давление $P\cdot10^{-5}$, Па	
Углеродистые стали	Черновая	Нормальный электрокорунд, в том числе покрытый	50 16	Мездровая синтетическая	24	0,5–3,0	Сульфофрезол, масляные эмульсии, тальк, жир, триэтаноламин
	Чистовая	Нормальный электрокорунд	12 М14		27	0,5 1,0	То же
Конструкционные легированные стали	Черновая	Нормальный легированный электрокорунд, в том числе покрытый	50–16	Синтетическая, комбинированная	22	0,5–1,0	Содовой раствор, масло, водный раствор нитрата натрия
	Чистовая	Белый электрокорунд, монокорунд, карбид кремния	12–М40	Синтетическая, мездровая	26	0,5–1,0	То же
Конструкционные износоустойчивые стали	Черновая	Легированный электрокорунд, белый электрокорунд	40 12	Синтетическая, комбинированная	25	0,5 20	Масло с олеиновой кислотой
	Чистовая	Легированный электрокорунд, белый электрокорунд	12–М40	Синтетическая, комбинированная, мездровая	25	0,3–1,0	Триэтаноламин
Коррозионностойкие и жаростойкие стали	Черновая	Монокорунд, легированный белый покрытый электрокорунд	63 16	Синтетическая, комбинированная, мездровая	25	0,5 2,0	Нитрат натрия, трансформаторное масло, сульфофрезол, масляные эмульсии, керосин, уайт-спирит
	Чистовая	Монокорунд, карбид кремния, легированный электрокорунд	12–М40		27	0,3–0,8	
Жаропрочные стали и сплавы, высокопрочные стали	Черновая	Монокорунд, легированные электрокорунды	80/63; 50/16; 40/16	Синтетическая, комбинированная, мездровая	25	0,5 2,0	Содовые растворы, уайт-спирит, масляные эмульсии, нитрат натрия
	Чистовая	Монокорунд, карбид кремния, легированный электрокорунд	12 М28		26	0,3–0,8	

Окончание табл. 3.38

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Шлифовальный материал	Зернистость	Связка	Режим обработки		СОЖ
					Скорость резания, м/с	Давление $P \cdot 10^{5}$, Па	
Инструметальные стали	Черновая	Монокорунд, карбид кремния	25–10	Комбинированная, синтетическая	22	0,5–2,0	Эмульсия типа "Укринол"
	Чистовая	Монокорунд, карбид кремния	8–М14	Синтетическая, комбинированная, лак	24	0,1–0,5	
Чугуны	Черновая	Карбид кремния	80 25	Синтетическая, комбинированная, лак	22	1,5–4,0	Водные растворы с тринатрий-фосфатом и азотнокислым натрием, содовой раствор
	Чистовая	Карбид кремния	16–М14	То же	27	0,5–2,0	
Свинцовые сплавы	Черновая	Карбид кремния, электрокорунд	50–20	Синтетическая, комбинированная, лак	26	0,3–1,0	Масляные эмульсии, масло
	Чистовая	Карбид кремния, электрокорунд	16–3		28	0,1–0,3	
Цинковые сплавы	Черновая	Электрокорунд, карбид кремния	25–6	Синтетическая, комбинированная, лак	29	До 2,0	Сухое шлифование, масляные эмульсии, сжатый воздух
	Чистовая	Карбид кремния	25–М40		34	До 0,3	
Древесина	Черновая	Кремень, электрокорунд, стекло, карбид кремния	80–25	Синтетическая, мездровая, лак	23	0,3–3,0	То же
	Чистовая	Кремень, электрокорунд, стекло, карбид кремния	16–3	Синтетическая, комбинированная	25	До 0,3	"
Титановые сплавы	Черновая	Монокорунд, карбид кремния	50 20	Синтетическая, комбинированная	10	1,5–2,5	Содовые растворы нитрида натрия, фосфата калия, гексаметофосфата натрия и триэтаноламина, сульфофрезол
	Чистовая	Монокорунд, карбид кремния	16–М40		16	0,3–1,0	

Алюминиевые сплавы	Черновая	Карбид кремния, электрокорунд	50–16	Синтетическая	28	0,5–2,0	Масляные эмульсии, масло, сжатый воздух
	Чистовая	Карбид кремния, злактрокорунд	12–М28	Синтетическая, мездровая, лак	30	0,2–0,5	
Медные сплавы	Черновая	Белый электрокорунд, нормальный электрокорунд	40–16	Синтетическая, комбинированная, мездровая, лак	28	0,8–2,0	Масляные эмульсии, масло, сжатый воздух
	Чистовая	Белый электрокорунд, карбид кремния	12–М7	Комбинированная, мездровая, лак	30	0,2–0,8	
Стекло	Шлифовальная	Карбид кремния	16–М28, 40/25, 16–5	Синтетическая	19	0,5–1,0	Водяное охлаждение
Пластмасса	Шлифовальная	Карбид кремния, монокорунд, белый электрокорунд	16–М28, 40/25, 16–5	Синтетическая	19	0,5–1,0	-
Резина	Шлифовальная	Монокорунд, нормальный электрокорунд, карбид кремния	50–4	Мездровая	27	0,1–2,5	–
Нитроцеллюлозные лаки	Шлифовальная	Карбид кремния	6–М14	Мездровая, комбинированная, лак	20	0,04–0,2	–
Грунтовка, шпатлевка	Шлифовальная	Карбид кремния, электрокорунд	6–М40	Лак, мездровая	30	0,04–0,4	–
Эмаль	Шлифовальная	Карбид кремния	6–М14	Лак, мездровая	30	0,04–0,2	

Таблица 8.39

Рекомендации по выбору характеристики шлифовальных дисков из шкурки и режимов обработки различных материалов

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Шлифовальный материал	Зернистость	Связка	Основа	Режим обработки		Контактный элемент
						Скорость резания, м/с	Давление $P \cdot 10^{5}$, Па	
Углеродистые стали	Черновая	Нормальный электрокорунд с покрытием	50–10	Синтетическая, лак, комбинированная	Ткань, бумага	55 17	1,0–4,0	Механическая, резиновая, планшайба
	Чистовая	Нормальный, белый электрокорунд, карбид кремния	8–М40	Синтетическая, мездровая, комбинированная, лак	-	55–20	0,1–1,0	Планшайба из резины, фибры
Легированные стали и сплавы	Черновая	Нормальный, легированный электрокорунд с покрытием	40–10	Синтетическая, комбинированная	Ткань	55–53	0,5–2,0	Металлическая, резиновая, текстолитовая планшайба
	Чистовая	Белый электрокорунд, монокорунд, карбид кремния	8 М40	Синтетическая, мездровая, лак	Ткань, бумага	55–30	0,1–0,5	Планшайба из резины, фибры
Коррозионностойкие и жаростойкие стали, жаропрочные стали и сплавы	Черновая	Монокорунд, белый и легированный электрокорунд и электрокорунд с покрытием	40–10	Синтетическая, комбинированная, мездровая	Ткань	55–15	0,5–2,0	Металлическая, текстолитовая, резиновая планшайба
	Чистовая	Монокорунд, карбид кремния, легированный электрокорунд	8–М40	Синтетическая, комбинированная, мездровая, лак	Ткань, бумага	55–28	0,1–0,4	Планшайба из резины, фибры
Алюминий и его сплавы	Черновая	Карбид кремния	25 8	Синтетическая	Ткань	55 9	0,5 2,0	Металлическая, текстолитовая, резиновая, войлочная, планшайба
	Чистовая	Карбид кремния	6–М40	Синтетическая, мездровая, лак	Ткань, бумага	55–35	0,08–0,5	Планшайба из резины, фибры, войлока

Медь и ее сплавы	Черновая	Карбид кремния, белый электрокорунд	25–8	Синтетическая, комбинированная, лак	Ткань, бумага	55–17	0,5–2,5	Резиновая, металлическая, войлочная, планшайба
	Чистовая	Карбид кремния, белый электрокорунд	6–М40	Комбинированная, мездровая, лак	Ткань, бумага	55–40	0,06–0,5	Планшайба из фибры, резины, войлока
Древесина	Черновая	Карбид кремния, кремень, стекло	40–10	Синтетическая, мездровая, лак	Ткань, бумага	55–17	0,5–3,0	Планшайба деревянная, фибровая, резиновая
	Чистовая	Карбид кремния, кремень, стекло	8–М40	Синтетическая, комбинированная, мездровая, лак	Ткань, бумага	50–24	0,05–0,5	Планшайба из резины, войлока, фибры
Покрытия	Шлифовальная	Карбид кремния, кремень, стекло	6–4	Мездровая, лак	Бумага	55–18	0,04–0,5	Планшайба из резины, войлока, ткани с деревом
Пластмасса	Шлифовальная	Белый электрокорунд, монокорунд, карбид кремния	4–М14	Синтетическая, лак	Ткань, бумага	55–9	0,05–1,5	Планшайба текстолитовая, фибровая, деревянная с войлоком
Резина	Шлифовальная	Монокорунд, нормальный электрокорунд, карбид кремния	32–4	Мездровая	Бумага	55–25	0,1–2,5	Планшайба из резины, фибры, дерева, облицованного тканью
Кожа	Шлифовальная	Карбид кремния, нормальный электрокорунд	40–4	Мездровая	Бумага	30–24	0,1–1,0	Планшайба из резины, дерева, облицованного войлоком, тканью

Лепестковые круги наиболее широкое применение получили в автомобилестроении на отделочных операциях взамен суперфиниширования, шлифования и полирования войлочными кругами, ручного шлифования и шлифования шкуркой; в инструментальной отрасли для обработки заготовок перед омеднением, хромированием; в металлургической отрасли для обработки листового металла; в электротехнической отрасли для зачистки контактов и мест спайки; в шинной, резиновой, обувной отраслях при производстве резиновых изделий для зачистки и рыхления мест склейки и других заготовок; в деревообрабатывающей и других отраслях [453, 454].

Шлифование и полирование лепестковыми кругами применяются на зачистных операциях для подготовки под металлопокрытие бамперов, колпаков, ободков фар и других деталей автомобилей, на отдельных операциях полирования коренных, шатунных шеек коленчатых валов, поверхностей шаровых пальцев, цапф, фланцев, осей, отверстий, колец и шестерен, лент и полос и других заготовок, к шероховатости которых предъявляются высокие требования.

Шлифование лепестковыми кругами отличается от шлифования обычными кругами условиями работы зерен. Упругое взаимодействие зерен с обрабатываемым материалом позволяет амортизировать удар зерен об обрабатываемую поверхность, существенно повышая стойкость инструмента; уменьшить напряженность теплового потока, вплоть до полного устранения прижогов; ликвидировать макрорастрескивание поверхностного слоя хрупких материалов; устранить разновысотность режущих профилей и засаливание рабочей поверхности инструмента.

В процессе работы абразивные зерна лепесткового круга вводятся в работу в результате изгиба лепестков. Площадь рабочей поверхности лепестков зависит от их количества в круге и конструктивных параметров круга. В начале процесса обработки происходит приработка круга. Лепестки под действием сил резания создают уплотняющий поясок, который начинает интенсивно резать металл и изнашиваться. После приработки уплотнение круга стабилизируется и процесс обработки происходит при нормальном износе круга.

В процессе шлифования лепестковыми кругами происходит их самопрофилирование и сохранение принятого профиля обработанной поверхности в течение всего периода работы. И главное, шлифование данным инструментом позволяет достичь малой шероховатости обработанной поверхности при пониженной интенсивности съема, сопоставимой с интенсивностью съема при обработке обычным кругом. Перечисленные факторы и обусловливают основное назначение лепестковых кругов — отделочные операции при шлифовании и полировании.

Применяемые технологические схемы обработки лепестковыми кругами подобны основным принципиальным схемам шлифования обычными абразивными кругами. Кинематическая зависимость движений лепесткового круга и обрабатываемой заготовки при шлифовании на стационарных установках такая же, как и при круглом наружном и внутреннем, бесцентровом и плоском шлифовании периферией и торцем шлифовального круга.

Лепестковые круги могут быть использованы на всех видах шлифовальных станков, в автомобилестроении лепестковые круги работают на автоматических линиях многопозиционных агрегатов.

Технология применения дисков и лепестковых кругов предусматривает широкое использование ручных пневмоэлектрических машинок, основные технические характеристики которых для наиболее распространенных моделей приведены в табл. 8.40.

Рекомендации по выбору характеристик лепестковых кругов из тканевой шкурки на синтетической связке и режимов обработки различных материалов представлены в табл. 8.41.

Около 70 % фибровых дисков используется при шлифовании металлов и примерно 27 % — для обработки неметаллических изделий. Применение фибровых дисков при обработке сталей и сплавов составляет 77 %, цветных металлов и сплавов — 23 %. Использование фибровых дисков при обработке неметаллов составляет: для пластмасс — 65 %; для предварительных технологических покрытий и окончательных защитно-декоративных — 20 %; для древесины — до 15 %.

Фибровые диски применяются в автомобилестроении для зачистки сварных швов и острых кромок, проемов и поверхностей кузова автомобиля, в судостроении — для обработки гребных винтов, для зачистки крупногабаритных заготовок типа мостовых кранов и других сварных конструкций, для обработки предварительных технологических покрытий (грунтовок, шпатлевок) и подготовки поверхности под окончательные защитно-декоративные покрытия (лаком, краской и др.), для обработки заготовок из пластмассы, резины, древесины.

Все операции, выполняемые с помощью фибровых шлифовальных дисков, можно разделить на два типа: шлифование ручными машинками и шлифование на стационарных станках. Наиболее распространено шлифование фибровыми дисками на ручных машинках, а применение шлифовальных машинок фирмы Bosch (Германия) имеет наибольший удельный вес и составляет 87 % от всех применяемых в автомобилестроении ручных шлифовальных машинок.

Наиболее применяемыми контактными элементами при работе на ручных машинках являются планшайбы из различных материалов.

Рабочие скорости фибровых дисков находятся в пределах 23–60 м/с при изменяющемся давлении в пределах $0{,}04\cdot10^5$–$10\cdot10^5$ Па в зависимости от обрабатываемого материала. Прижим при шлифовании фибровыми дисками осуществляется вручную и составляет 15±5 Н. СОЖ при шлифовании дисками практически не применяется.

Рекомендации по выбору характеристики фибровых дисков, выпускаемых по ГОСТ 8692–82, и режимов шлифования различных материалов приведены в табл. 8.42.

Перспективные виды шлифовальных шкурок. Авторами [455] опробованы новые виды высокопроизводительной шлифовальной шкурки на тканевой основе с мездровой связкой, отличающиеся высокой режущей способностью, лучшим качеством обработанной поверхности, повышенной прочностью крепления шлифовального материала за счет применения новых тканевых основ из синтетических нитей и пряж, прочность которых в продольном направлении выше (до 1500 Н) по сравнению с серийными хлопчатобумажными тканями по ГОСТ 3357–72, используемыми для производства серийных шлифовальных шкурок (1180 Н).

На заводах совместно с Уральским филиалом ВНИИАШа изготовлены по действующим технологическим процессам производства и испытаны опытные партии шлифшкурок различной зернистости (от М40 до 40) на тканях

Таблица 8.40

Технические характеристики оборудования, применяемого при работе с дисками и лепестковыми кругами

Показатель	Ручные шлифовальные машины моделей							
	пневматические			электрические			фирмы Bosch (ФРГ)	
	ИП-2009А	ИП-2014	ИП-2015	ИЭ-2203	ИЭ-2201А	ИЭ-8201А		
Частота вращения шпинделя, об/мин	12700	5100	7600	4580	830	2920	6000	6000
Диаметр инструмента, мм	60	150	100	125	130	$\frac{125}{200}$	178	100
Мощность, кВт	0,45	1,3	0,75	1,35	0,14	0,6	0,75	1,13
Габариты шлифмашины, мм								
Длина	476	565	510	320	300	$\frac{294}{265}$	300	565
Ширина	73	164	114	150	160	$\frac{210}{226}$	135	110
Высота	70	127	93	200	300	$\frac{230}{272}$	200	110
Масса, кг	2,0	5,5	3,5	4,3	8,2	26,5	4,0	5,1

Таблица 8.41

Рекомендации по выбору характеристик лепестковых кругов из тканевой шкурки на синтетической связке и режимов обработки различных материалов

Обрабатываемый материал	Вид шлифования	Шлифовальный материал	Зернистость	Скорость резания, м/с	Натяг круга при шлифовании, мм		Шероховатость поверхности R_a, мм, обработанной	
					периферией круга	торцом	периферией круга	торцом
Углеродистые стали	Круглое	Нормальный электрокорунд	12–4	30	1,0–1,3	–	0,16–1,25	–
	Плоское		8–4	40	0,8–1,0	0,4–2,5	0,03–0,32	0,04–0,32
	Внутреннее		4	50	0,3–0,6	–	0,04–0,32	–
Чугун	Круглое	Нормальный электрокорунд	12–4	35	1,2–1,5	–	0,08–1,25	–
	Плоское		12–8	35	1,2	–	0,32–1,25	–
	Внутреннее		12–8	50	0,6	–	0,32–1,25	–
Латунь	Круглое	Нормальный электрокорунд	8,4	30	0,8–1,2	–	0,16–1,25	–
	Плоское		8,4	35	0,5–0,8	0,3–1,8	0,16–1,25	0,8–0,63
	Внутреннее		8,4	50	0,3–0,5	–	0,16–1,25	–
Алюминий	Круглое	Карбид кремния	4	30	0,6–0,8	–	0,32–1,25	–
	Плоское		–	35	–	0,3–1,5	–	0,16–0,63
	Внутреннее		8–4	50	0,3–0,4	–	0,32–1,25	–

Таблица 8.42

Рекомендации по выбору характеристики фибровых шлифовальных дисков, выпускаемых по ГОСТ 8692–82 и режимов шлифования различных материалов

Обрабатываемый материал	Вид шлифования и операция	Режим шлифования		Характеристика фибрового диска			
		Скорость резания V, м/с	Давление $P \cdot 10^{5}$, Па	Абразивный материал	Зернистость	Рабочий слой	Вид связки
Углеродистая сталь I класс, I группа	Черновое	55 17	1,5 10,0	Белый электрокорунд	125 20	Сплошной	Эпоксидная смола, алкидный лак
	Чистовое	60 20	0,10 1,0	Карбид кремния, белый электрокорунд, сферокорунд	16–6	Сплошной	Карбамидная смола
Конструкционная углеродистая сталь II класс, I группа	Черновое	55–30	1,5–10,0	Белый электрокорунд	125- 20	Сплошной	Эпоксидная смола, алкидный лак
	Чистовое	60 35	0,05 1,0	Карбид кремния, белый электрокорунд, сферокорунд	16–6	Сплошной редкий	Комбинированная связка, карбамидная смола
Конструкционная легированная сталь II класс, 2–9 группы	Черновое	55–23	1,0 3,5	Монокорунд	80 20	Сплошной	Эпоксидная смола
	Чистовое	60–30	0,10–1,0	Белый электрокорунд, карбид кремния, монокорунд	16–6	Сплошной открытый	Карбамидная смола, комбинированная связка
Коррозийно-стойкая и жаростойкая сталь III класс, II группа	Черновое	50–15	0,5–3,0	Монокорунд, белый электрокорунд	80–20	Сплошной	Эпоксидная смола
	Чистовое	60 28	0,1–0,4	Карбид кремния, монокорунд, эльбор, белый электрокорунд	16–6	Сплошной рельефный	Карбамидная смола, комбинированная связка
Жаропрочная сталь и сплавы II класс, 12 группа	Черновое	55–15	0,7–2,5	Монокорунд, белый электрокорунд	80–20	Сплошной	Эпоксидная смола
	Чистовое	60 28	0,1–0,3	Карбид кремния, монокорунд	16–6	Сплошной открытый рельефный	Карбамидная смола, комбинированная связка
Титан и его сплавы	Черновое	42 18	1,0 2,5	Карбид кремния, монокорунд	80 20	Сплошной	Эпоксидная смола, алкидный лак
	Чистовое	51–28	0,3–1,0	Карбид кремния, монокорунд	16–20	Сплошной рельефный	Эпоксидная смола

Алюминий и его сплавы	Черновое	55 9	1,0 10,0	Карбид кремния, сферокорунд	125 20	Сплошной, рельефный	Эпоксидная смола
	Чистовое	60–35	0,08 1,0	Карбид кремния, сферокорунд	16 M40	Сплошной, рельефный, редкий	Эпоксидная смола
Медь и ее сплавы	Черновое	50 17	1,0–7,0	Карбид кремния, белый электрокорунд	80 20	Сплошной	Алкидный лак
	Чистовое	50–40	0,10 0,9	Карбид кремния, белый электрокорунд	16 M40	Сплошной, рельефный	Алкидный лак, карбамидная смола
Древесина	Черновое	55–17	1,0–7,0	Карбид кремния, сферокорунд	125–20	Сплошной, рельефный	Карбамидная смола, алкидный лак, комбинированная связка
	Чистовое	70–24	0,05–1,0	Карбид кремния, кремень, стекло, сферокорунд	16–M40	Рельефный, открытый, редкий	Карбамидная смола, комбинированная связка
Пластмасса	Шлифование	78–9	0,10–3,0	Карбид кремния, белый электрокорунд, сферокорунд	125–M28	Сплошной, рельефный, открытый, редкий	Алкидный лак, комбинированная связка, карбамидная смола
Кожа	Шлифование	30 24	0,20–1,0	Карбид кремния	40–10	Сплошной, рельефный, открытый, редкий	Карбамидная смола
Резина	Шлифование	78–25	0,20–4,0	Монокорунд, карбид кремния	125–6	Сплошной, рельефный, редкий	Комбинированная связка, карбамидная смола
Покрытия (грунтованные, шпатлеванные, лаковые и др.)	Шлифование	78–18	0,04–1,0	Карбид кремния, кремень, стекло, сферокорунд	80–M28	Сплошной, рельефный, редкий, открытый	Алкидный лак, карбамидная смола
Строительные материалы (в том числе мрамор, гранит, бетон)	Шлифование	69 27	0,50 10,0	Белый электрокорунд, монокорунд, карбид кремния	80 M28	Сплошной, рельефный	Комбинированная связка, карбамидная смола

"ПЭФ-ВИС" (процентное отношение полиэфира к вискозе 67 : 33). Как показали результаты испытаний, шлифшкурка на тканях "ПЭФ-ВИС" обладает повышенной режущей способностью, прочностью, меньшей неравномерностью толщины по сравнению с серийной шлифшкуркой по ГОСТ 5009–82. Физико-механические показатели опытных шлифшкурок зернистостями М63 и 40 по сравнению с серийными приведены в табл. 8.43.

Партии шлифшкурок зернистостью 40–М40 на мездровой связке прошли испытания на предприятиях машиностроения, подшипниковой и автомобильной

Таблица 8.43

Физико-механические показатели опытных шлифшкурок на тканях "ПЭФ-ВИС" в сравнении с серийными

Вид шкурки и ее ширина	Физико-механические показатели шлифшкурки				
	Разрывная нагрузка на полосу 50 × 200 мм, Н		Удлинение при разрыве на основе, %	Промежуточное удлинение при нагрузке 100 Н/см, %	Режущая способность, мм^3/мин
	вдоль	поперек			
Серийная по ГОСТ 5009–82 шириной 770–830 мм из 14А М63	1180	295	7	2,5	57
Опытный образец на ткани ПЭФ-ВИС шириной 830 мм из 14А М63	1420	650	20	3,0	78
Серийная по ГОСТ 5009–82 шириной 770–830 мм из 14А 40	1180	295	7	2,5	259
Опытный образец на ткани ПЭФ-ВИС шириной 830 мм из 14А 40	1510	804	17	3,2	306

Таблица 8.44

Операции обработки и результаты испытаний шлифшкурки на тканях "ПЭФ-ВИС"

Наименование операции	Характеристика шлифшкурки	Обрабатываемый материал	Оборудование	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм	Увеличение ресурса по сравнению с серийной шлифшкуркой, %
Обработка колец подшипников	14А М40	Сталь ШХ-15	Станок ПДВ	0,05–0,08	–
	14А М63			0,09–0,12	–
	92А М12			0,40	–
Полирование шейки коленчатого вала	15А М63 15А М40	В4 50-2 42ХМФА	Полировальный станок фирмы Nagel (Германия)	0,20 0,16	– –
Обработка рамки штангенциркуля	92А М12	Сталь 40Х	Шлифовальный станок с неподвижным столом	–	На 90 %
Зачистка заусенцев на торцах сепараторов подшипников	14А 40	Сплав: бронза Бр АЖМЦ10-3-1,5, дюралюминий Д1, латунь ЛС 59-1	Установка заводского изготовления	–	На 50 %
Зачистка корпуса коловорота	14А 40	Сталь 45Л	Шлифовальный станок модели Ш-12	–	В 1,7 раза

промышленности в виде бобин и бесконечных лент. Операции обработки и результаты испытаний приведены в табл. 8.44.

В результате испытаний установлено, что инструмент, изготовленный из шлифшкурки на тканях "ПЭФ-ВИС", имеет высокий технический ресурс и обеспечивает улучшенные показатели шероховатости обработанной поверхности по сравнению с серийной шлифшкуркой, изготавливаемой по ГОСТ 5009–82.

8.13. Выпуск шлифовальной шкурки за рубежом и в странах СНГ

Основные зарубежные фирмы по изготовлению шлифовальной шкурки — Norton (США, Франция, Англия, Канада, Германия, Италия и др.); Carborundum (США, Англия, Германия); 3MCO (США, Англия, Германия, Франция); Sait (Англия, Италия); "ЧИА" (Италия); Noritake (Япония); Feldmühle (Германия); Schreder (Германия); BSM (Англия), Naksos (Венгрия); Запорожский абразивный комбинат (Украина), а также фирмы Австрии, Бельгии, Дании, Испании, Норвегии, Финляндии, Швейцарии, Швеции и др.

Выпуск шлифовальной шкурки по видам связующих отличается от отечественных и ориентировочно составляет:

на животных клеях — 30–40 %;

на синтетических связующих — 30–50 %;

на комбинированных связующих — 20–30 %;

на водостойкой бумаге — до 20 %.

Отличительной особенностью производства шлифовальной шкурки за рубежом является использование прогрессивного технологического и контрольного оборудования, в том числе установок для улавливания вредных веществ, выделяющихся при ее производстве. За рубежом, например в Германии, Австрии и др., имеются фирмы, которые изготавливают специализированное оборудование для производства шлифовальной шкурки и подготовки исходных материалов, в то же время в нашей стране такое оборудование не изготовляется. Кроме того, зарубежные фирмы для производства шлифовальной шкурки используют более значительные количества марок бумаг, тканей, клеевых композиций. Как правило, ткань абразивным предприятиям поставляется в подготовленном виде; для повышения плотности, эластичности на текстильных фабриках она проходит специальную обработку [413].

Зарубежные фирмы для производства шкурки используют различные виды бумажных основ (табл. 8.45).

Таблица 8.45

Показатели качества бумажных основ шлифовальных шкурок зарубежных фирм

Страна	Сорт бумаги, масса бумаги, г/м^2				
	A (очень тонкая)	B (тонкая)	C (средняя)	D (толстая)	E (очень толстая)
Германия	70	100	120	150	220
Англия	85	100	130	165	220
Италия	68–80	95–105	114–126	146–158	218–242
Япония	65–85	–	95–120	Не менее 135	–

При производстве шлифовальной шкурки на тканевой основе зарубежные фирмы используют высокопрочные сорта хлопчатобумажных тканей; синтетические материалы используются реже, так как в этом случае из-за высоких контактных температур абразивная лента имеет тенденцию к неравномерному растяжению и потере эластичности.

Так, например, предприятия Германии используют тканевые основы трех типов: x — саржа утяжеленная высокопрочная (отечественный аналог У2, У2Г, П и СП); j — саржа легкая с низким коэффициентом растяжения (аналог Л0, Л0Г, Л1 и Л2); j-Flex — очень гибкая саржа, облегченная ткань (аналог тканей типа шифон или "плащевка").

Немецкая фирма VSM выпускает для обработки профиля пера титановых лопаток из сплавов ВТ3-1 и ВТ8М бесконечные шлифовальные ленты с зерном "компакткор" следующих характеристик: 300 × 2400, 300 × 3100 СК 742 j Р80 (бесконечная лента из карбида кремния на ткани гибкой с компактным зерном № 25), склейка шва "встык" под углом 80° с дополнительной соединительной упрочняющей пленкой на нерабочей стороне ленты.

Компактное зерно фирмы VSM представляет собой крупные режущие частицы, состоящие из большого числа мелких зерен, соединенных между собой связующим материалом. Крупные зерна не разрушаются, как обычно, на крупные частицы, а распадаются в процессе изнашивания на мелкие фрагменты путем отделения мелких зерен, при этом острота кромок и режущая способность зерен постоянно сохраняются, а срок службы инструмента из нового зерна многократно увеличивается (рис. 8.33). Стойкость таких лент по сравнению с отечественными выше в 6–10 раз [456–458].

Фирма Norddeutsche Schleitusi Hel-Industrie (Германия) выпускает шлифовальную шкурку на тканевой основе (под названием Hermesit) с применением нового вида шлифовального зерна, получаемого в виде полых сфер, а затем обычным электростатическим методом наносимого на основу из различной ткани: X (тяжелой, 230 г/м^2), J (средней, 180 г/м^2) или T-flex (средней, 180 г/м^2, эластичной). В результате в три раза увеличивается экономия зерна, обеспечиваются чрезвычайно большой срок службы инструмента с постоянной режущей способностью и его высокая эффективность.

Hermesit-RB530 — бесконечная лента из электрокорунда на тканевой основе, на связке смола + смола, используется для шлифования черных металлов без охлаждения или с применением в качестве охлаждающей среды масла. По сравнению с обычными шлифовальными лентами на тканевой основе Hermesit-RB530 в начале операции шлифует с малой режущей способностью, затем, когда сферы вскрываются, после усиления контакта с обрабатываемой поверхностью, шлифующее действие достигает полной силы.

Новый инструмент обеспечивает длительное и равномерное шлифующее действие, во много раз превосходящее действие стандартной шлифовальной ленты.

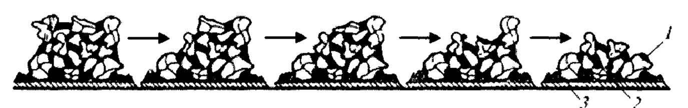


Рис. 8.33. Схема износа шлифовальной шкурки, изготовленной из зерна Компакткорн:
1 — крупное зерно; *2* — связка; *3* — основа

Таблица 8.46

Физико-механические показатели бумажных основ различных марок фирмы Norton

Наименование показателя	RM 005	RM 006	Влагопрочные бумажные основы			
			RM 001	RM 002	RM 003	RM 004
Масса 1м^2, г	225±15	230±15	68–75	129–144	100±3	162±3
Толщина, мкм	270±20	280±20	120–140	200–235	120 140	220 230
Разрушающая сила в сухом состоянии, кгс/15 мм: в машинном направлении в поперечном направлении	 77,5 31	 71,5 27	 7,5 3,5	 10,4 5,5	 11,5 8,2	 15,0 8,2
Удлинение в сухом состоянии, %, не менее: в машинном направлении в поперечном направлении	 – –	 3,2 9,6	 3,3 10,0	 5,0 14,0	 4,0 11,0	 6,4 19,0
Сопротивление раздиранию, гс, не менее: в машинном направлении в поперечном направлении	 300 320	 280 320	 75 105	 180 210	 80 188	 188 208
Воздухопроницаемость, с/100 см^3, не более	700	550	7,7	22	600	600
Сопротивление расслаиванию, г/м, не менее: с сеточной стороны с машинной стороны	 150 150	 140 140	 – –	 – –	 – –	 – –
Поверхностная адгезия, г/15 мм ширины: с сеточной стороны с машинной стороны	 100 95	 90 85	 – –	 – –	 – –	 – –
Отношение поперечного разрушающего усилия к продольному, не менее	0,4	0,3	0,45	0,53	–	–
Скручиваемость (при нанесении мездрового клея вязкостью 62 мПз и в процессе сушки образцов)	Незначительная (легкий подъем кромок)		–		–	-

В табл. 8.46 представлены физико-механические показатели бумажных основ фирмы Norton, в табл. 8.47 — импортных тканевых основ, в табл. 8.48 — технические требования фирмы Norton для алкидных и эпоксидных лаков, применяемых в производстве шлифовальной шкурки.

Таблица 8.47

Физико-механические показатели импортных тканевых основ различных марок

Наименование показателя	RM 020	RM 021	RM 023	RM024	RM 026
Масса 1 $м^2$, г	234±12	300±15	230±10	100±5	216±10
Число нитей на 1 см:					
основы	30	32	38	25	31
утка	19	20	26	23	18
Линейная плотность (номер):					
основы	22	17	28	50	17
утка	28	28	38	50	28
Взрывная нагрузка, кг/2,54 см:					
основы	52	71	46	17	55
утка	18,6	28	20	11	18
Удлинение при разрыве, %:					
основы	12	18	20	9	6
утка	6	8	9	9	12

Таблица 8.48

Технические требования фирмы Norton для алкидных и эпоксидных лаков

Наименование показателя	Алкидный лак КМ070	Алкидный лак КМ071	Эпоксидный лак КМ074
Внешний вид	Янтарного цвета жидкость, свободная от примесей		
Содержание нелетучих, %	60,0	60,0	55,0
Кислотное число, мг КОН	55–60	6–12	15
Вязкость по Брукфильду, сПз, не менее	320–370	100–140	2500
Время практического высыхания при 66 °С, мин	60	90–120	–

При выпуске широких шлифовальных лент для обработки древесно-стружечных плит фирма Norton рекомендует применять шлифовальную шкурку на комбинированной основе, состоящей из особопрочной бумаги марки RH005 и полинозной ткани RM(025), имеющей следующие показатели:

Состав пряжи

Основа .... Хлопок
Уток .... Полинозное волокно ВХ
Масса 1 $м^2$, г 350
Переплетение .... Сатин 4/1

Число нитей на 1 см

Основа 38
Уток 20,5

Метрический номер

Основа 28
Уток 10,7

Разрывная нагрузка, кг/2,54 см

Основа 53
Уток .... +135

Удлинение при разрыве, %

Основа 16
Уток 11,4

Показатели качества шлифовальных шкурок отдельных зарубежных фирм представлены в табл. 8.49.

Выпуск шкурки на Украине осуществляется по ТУ У3.02-00222226-014–95 и распространяется на неводостойкую и водостойкую тканевую и бумажную, комбинированную шлифовальные шкурки, предназначенные для абразивной обработки металлов, сплавов, стекла, пластмасс, лакокрасочных покрытий, дерева, древесно-стружечных плит и других материалов без охлаждения или

Таблица 8.49

Показатели качества шлифовальной шкурки отдельных зарубежных фирм

Наименование показателя	Chistionsen (Германия), КВЕН46Х, КВЕН60Х	Noritake (Япония), F80 235A, Ax235F46
Допустимые отклонения по длине рулона, мм	±15,0	±(15–19)
Неравномерность толщины, мм, для шлифовальной шкурки зернистостью:		
50	–	–
40–20	0,18–0,20	0,20
16	–	0,12
Материал основы шлифовальной шкурки	Ткани хлопчатобумажные типа Х (утяжеленная саржа)	
Содержание основной фракции, %	60	55
Прочность шлифовальной шкурки (для основы саржи утяжеленной), кгс:		
в продольном направлении	132	150
в поперечном направлении	40	37
Удлинение при разрыве в продольном направлении, %	6,2	5,3
Показатель износостойкости для шлифовальной шкурки зернистостью:		
40	25	27
25	20	–
16	–	23
Режущая способность, мм, для шлифовальной шкурки зернистостью:		
40	10,1	10,2
25	9,9	–
16	–	4,6

с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на основе масла, керосина, уайт-спирита, а также воды (для водостойких шлифовальных шкурок). Шлифовальная шкурка изготовляется в виде рулонов и листов, размеры которых указаны в табл. 8.50. Режущая способность шлифовальных шкурок на различных основах представлена в табл. 8.51, 8.52.

Таблица 8.50

Размеры шлифовальной шкурки на различных основах и зернистостях абразивных материалов

Вид шлифовальной шкурки	Ширина, мм		Длина, м (для листов, мм)		Зернистость шлиф-материала
	Номинал	Предельное отклонение	Номинал	Предельное отклонение	
Неводостойкая, водостойкая, суперводостойкая тканевые	200–380	±10,0	15; 20	±0,2	P12–P24
	400–680	±10,0	20; 25	±0,2	P30–P40
	700–1080	±10,0	25; 30	±0,2	P50–P80
	1100–1300	±10,0	30; 35	±0,2	P100–P180
	1315–1495	±15,0	40; 45; 50	±0,2	P220–P600
Комбинированная	200–480	±10,0	15; 20	±0,2	P12–P24
	500–780	±10,0	20; 25	±0,2	P30–P40
	800–1060	±10,0	25; 30	±0,2	P50–P80
	1080–1240	±10,0	30	±0,2	P100–P120
	1260–1380	±20,0	35	±0,2	P100–P120
Неводостойкая бумажная	200–680	±10,0	20; 25	±0,2	P24–P30
	700–1080	±10,0	25; 30	±0,2	P36–P60
	1100–1320	±10,0	40; 45	±0,2	P80–P600
	1335–1395	±15,0	50	±0,2	P80–P600
Водостойкая бумажная	1200	±10,0	50; 100	±0,2	P60–P2000
Тканевая	Листы 115; 230	±2,0	140; 280; 310	± 5,0	P24–P2000
Бумажная	310	±2,0	310	± 5,0	P24–P2000

Таблица 8.51

Режущая способность шлифовальной шкурки на тканевой основе

Вид шлифовальной шкурки	Зернистость шлиф-материала	Режущая способность шлифовальной шкурки, мм^3/мин, не менее, на связке				
		из электрокорунда			из карбида кремния	
		циркониевого	нормального			
		K_1R		M		K_1R
Неводостойкая, водостойкая, суперводостойкая тканевые	P12–P30	–	520–550	–	–	280–310
	P36–P80	650–575	540–471	486–424	255–171	283–190
	P100–6080	–	412–10	361–9	158–18	175–20
Комбинированная	P12–P120	–	–	–	–	215–146

Таблица 8.52

Режущая способность шлифовальной шкурки на неводостойкой бумажной основе

Вид шлифовальной шкурки	Зернистость шлиф-материала по ГОСТ Р 52381-2005	Режущая способность шлифовальной шкурки, г/мин, не менее, для вида основы			
		электрокорундовой		карбид-кремниевой	
		C, D, E, F	*L*	C, D, E, F	*L*
Неводостойкая бумажная	P24–P800	0,410-0,030	0,330–0,0250	0,417-0,006	0,295–0,0010
Водостойкая бумажная	P60–P2000	0,210–0,0020		0,290–0,0020	

Американские фирмы Norton и 3M создали новые лепестковые круги для чистовой обработки плоских и фасонных металлических и других поверхностей [45, 46].

Лепестковые круги диаметром от 80 до 600 мм с различной рабочей высотой предназначены для настольных или стационарных шлифовальных и доводочных станков; при этом дополнительной отладочной регулировки, правки или другой подготовки не требуется.

В лепестковые круги диаметром от 25 до 75 мм вмонтирована оправка с резьбой для быстрой установки или снятия. Круги устанавливаются на электро- и пневморучных машинках, на станках с гибким валом, на вертикально-сверлильных и на токарных станках. Круги обоих типов изготовляют из плотно уложенных полос электрокорундовой шкурки на тканевой основе.

Лепестковые круги фирмы "3M" состоят из листов хлопчатобумажной или искусственной шелковой ткани, радиально закрепленных органическим связующим в специально изготовленном сердечнике.

Круги из искусственной шелковой ткани мягче, обладают меньшей режущей способностью и удобнее при эксплуатации по сравнению с кругами из хлопчатобумажной ткани. Этим кругам можно заранее придать форму обрабатываемого изделия, и они сохраняют ее в течение всего срока службы.

Фирма Lea Manufacturing company of England Limited (Англия) расширила номенклатуру шлифовальных кругов Leaflex, включив в нее серию дисков Flex-N-CUT. Эти диски изготовляют из хлопчатобумажной ткани, насыщенной электрокорундом и прикрепленной к фибровой основе [459].

Диски Flex-N-CUT выпускаются двух типов — гибкие и жесткие диаметром 110 и 170 мм. Они могут работать на стандартном оборудовании для черновой обработки. Сфера применения — зачистка сварных швов и швов после оплавления, шлифование нержавеющей и мягкой стали, алюминия.

Диски не засаливаются и обеспечивают получение высокого класса чистоты обработки поверхности под предварительную окраску или окончательное полирование.

Глава 9

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ

9.1. Абразивный инструмент на основе связующего вспененного поливинилформаля

Абразивные круги на основе вспененного поливинилформаля (ПВФ) представляют собой губкообразные изделия, содержащие остатки непрореагировавших формальдегида и кислоты [460]. Оптимальные условия получения пены из растворов ПВС (поливинилового спирта) автор исследовал при отсутствии абразивных наполнителей [461]. Вспенивание осуществлялось при наличии поверхностно-активных веществ (ПАВ) и механическом перемешивании композиции в мешалке с частотой вращения 1400 об/мин в течение 15 мин, после чего вспененную композицию перемешивали с концентрированной соляной кислотой, добавляемой из расчета создания кислотности 1,1 моль/л. Результаты исследования позволили для получения стабильных пен выбрать катионно-активный ПАВ — выравниватель А (смесь бензосульфонатов метилдиэтиламинометильных производных полиэтиленгликолевых эфиров алкилфенолов при оптимальной концентрации 0,7 от жидкой фазы) и неионогенный ПАВ-ОП-7 (смесь полиэтиленгликолевых эфиров моно- и диалкилфенолов) при концентрации 0,9 % от жидкой фазы.

При введении в пену абразивных зерен возникают дополнительные трудности, связанные с их оседанием. Согласно работам [462, 463] стойкость пены зависит не только от вспенивающего агента, но в большей степени от вязкости и прочности пленок пены. В случае введения абразивов в пену разрушение ее может происходить механическим путем. Устойчивость пены увеличивается с увеличением вязкости вспениваемых растворов.

Существуют границы вязкости растворов ПВС, из которых могут быть получены равномерно наполненные абразивные пены.

Одним из важнейших этапов технологического процесса получения абразивных инструментов на основе связующего из вспененного поливинилформаля является вспенивание композиции, состоящей из раствора поливинилового спирта, абразивного зерна и ряда добавок. Из факторов, характеризующих процесс пенообразования, наиболее важным является кратность пены (степень увеличения объема при вспенивании) и ее стабильность во времени. Изменение кратности пены позволяет менять пористость получаемых инструментов, а возможность их твердения без разрушения вспененной структуры связана с необходимостью получения достаточно стабильной пены.

На рис. 9.1 приведены граничные кривые для вязкости растворов поливинилового спирта в зависимости от размеров абразивных зерен и отношения масс зерна и связки. Из анализа рис. 9.1 следует, что при переходе к использованию более крупных зерен абразива необходимая вязкость ра-

створов ПВС увеличивается, а при использовании абразивного зерна одной крупности тоже увеличивается с уменьшением соотношения масс зерна и связки.

Установлено, что для получения абразивных изделий применим ПВС молекулярной массы выше 35000. При использовании полимера с более низкой молекулярной массой даже при высоких его концентрациях в растворе изделия обладают малой прочностью, особенно во влажном состоянии. Значения вязкости растворов ПВС должны лежать в пределах 600–2800 сантипуаз (Сп). Оптимальные области для мелких зерен карбида кремния — 800–1400 Сп, для средних — 1000–1800 Сп, а для крупных — 1600–2400 Сп.

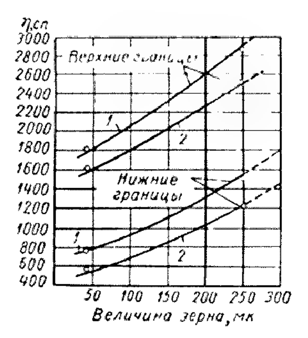


Рис. 9.1. Граничные кривые вязкости растворов ПВС в зависимости от размера абразивных зерен и соотношения зерна и связки:

1 соотношение З/С = 5/1;
2 соотношение З/С = 10/1

На основе исследований, выполненных в работах [461–464], создан технологический процесс получения абразивного инструмента на основе связующего вспененного поливинилформаля, абразивного зерна и ряда добавок.

Процесс состоит из следующих этапов: смешивание исходных компонентов — поливинилового спирта, абразивного зерна, вспенивающих агентов (А или ПАВ-ОП-7), формальдегида; вспенивание композиции в процессе механического перемешивания на быстровращающейся мешалке; введение соляной кислоты во вспененную композицию при перемешивании; разлив пены в формы; отверждение материала при определенной температуре (20–30 °С); отмывка водой от непрореагировавших компонентов реакции; сушка при t = 60–80 °С. В процессе выдержки происходит реакция между поливиниловым спиртом и формальдегидом, приводящая к образованию поливинилформаля:

$$[-\underset{|}{C}H-CH_2-\underset{|}{C}H-CH_2-]_n$$
$$O-CH_2-O$$

В работе [465] приводятся данные об удалении водой остатков в кругах непрореагировавших формальдегида и кислоты, которые приводят к коррозии оборудования и обрабатываемых деталей, а также к изменению свойств изделий при их хранении. Установлено, что формальдегид удаляется из изделий значительно раньше, чем кислота; процесс отмывки длится час; повышение температуры воды с 10 до 40 °С приводит к сокращению времени отмывки в два раза; уменьшение количества катализатора (HCl), вводимого в композицию для отверждения, ускоряет процесс отмывки, а также приводит к уменьшению кислотности сточных вод. Так, при уменьшении количества HCl на 1000 г раствора ПВС с 140 до 50 мл после 30 мин отмывки в сточных водах кислота отсутствует. Условия отверждения изделия также влияют на время их отмывки. Оптимальная жесткость изделия, при которой проис-

ходит хорошая отмывка, получены отверждением изделий при температуре 50–60 °С в течение 5–6 ч.

Инструменты на поливинилформалевой связке рекомендуется применять для окончательной отделки обычной и нержавеющей стали, меди, латуни, бронзы, дерева, мрамора и пластических масс. Имеются рекомендации по применению кругов на конкретных операциях: шлифование канавок подшипников [466], удаление коррозии с полосовой стали, бесцентровое шлифование, суперфиниширование, шлифование и полирование корпусов часов [467] и др. В работе [469] даются рекомендации по использованию кругов на пенопласте для обработки таких материалов, как латунь и авиаль (при скорости кругов 25–30 м/с и удельном давлении 0,4–0,6 кг/см^2).

Абразивные изделия на ПВФ не засаливаются; эластичность связки позволяет обрабатывать ими поверхности сложного профиля. Применение изделий на ПВФ дает возможность получать поверхности высокого класса чистоты вплоть до зеркальной при одновременном сокращении числа операций и их продолжительности, а также механизировать некоторые ручные операции. Пористые абразивные инструменты могут заменить дефицитные войлочные круги.

9.2. Высокопористый абразивный инструмент на бакелитовой связке

Шлифование плоских поверхностей деталей торцем круга, ввиду большой площади и длительности контакта круга с деталью, характеризуется высокой теплонапряженностью, что ограничивает диапазон режимов шлифования и отражается на производительности обработки. Для улучшения процесса торцешлифования авторами разработан новый способ изготовления высокопористых кругов на бакелитовой связке и метод определения структуры инструмента [469, 470].

Способ изготовления высокопористых шлифовальных кругов на бакелитовой связке заключается в замене абразивного зерна (по рецептуре) равным по объему количеством порообразователя с размером гранул от 0,2 до 2 мм. При приготовлении абразивной смеси порообразователь вводят в чашу смесительной машины и смешивают со шлифматериалом, после чего эту смесь увлажняют жидким бакелитом. Дальнейшее введение компонентов связки и смешивание осуществляют по обычной технологии.

При изготовлении кругов, предназначенных для работы с СОЖ на водной основе, в качестве порообразователя используются гранулы хлорида калия [471]. При этом образование пор на поверхности круга происходит в результате растворения хлорида калия в охлаждающейся жидкости при шлифовании. Для повышения водостойкости кругов рекомендуется шлифматериал покрывать кремнийорганическим соединением АГМ-9 (ТУ 6-02-724–77) [472].

Для тех случаев, когда круги эксплуатируются с охлаждением, приготовленным на масляной основе (например, при шлифовании торцев поршневых колец), разработан способ изготовления высокопористых кругов, в которых в качестве порообразователя используются гранулы карбамида [473]. В процессе

бакелизации абразивных изделий карбамид взаимодействует с фенолформальдегидной смолой с выделением газообразного аммиака, который улетучивается с образованием пор в изделии. Для улучшения технологических свойств абразивных смесей предлагается использовать пластифицирующую добавку — политерпены (ТУ 6-02-724-77) [474].

Создание и промышленное использование разработанного способа изготовления высокопористых кругов из электрокорунда и карбида кремния зернистостью от 16 до 50 с номером структуры от 10 до 15 позволяет:

снизить расход шлифматериалов на 20—25 % за счет замены его в рецептуре более дешевым порообразователем;

устранить брак деталей по прижогам;

увеличить производительность труда при шлифовании в 1,2—1,5 раза за счет увеличения режущей способности инструмента;

сократить износ абразивного инструмента на 30—40 % за счет полного использования рабочей части шлифовального круга и уменьшения числа его правок. Например, при промышленном использовании высокопористых шлифовальных кругов ПН 750 × 70 × 25 из электрокорунда зернистостями 25 и 40, твердостью СМ2, структуры 12 на операции шлифования дисков трения трактора К-701 установлены следующие показатели процесса: устранение брака деталей по прижогам; повышение производительности при шлифовании — в 1,2 раза; сокращение износа абразивного инструмента — в 1,3 раза.

Эпоксикаучуковая связка содержит эпоксидно-новолачный блоксополимер, полученный сополимеризацией эпоксидной и фенолформальдегидной новолачной смолы, совместно с бутадиен-нитрильным каучуком. В состав связки дополнительно вводятся газообразователь, поверхностно-активное вещество, катализатор. Технология изготовления абразивных инструментов на эпоксикаучуковой связке включает дозирование компонентов, их совмещение на вальцах в течение 40—50 мин, прокатку и вырубку заготовок. Вспенивание и отверждение абразивного инструмента производятся в закрытых формах при температуре 80—180 °C в течение 4—8 ч. Затем производится механическое удаление облоя с отвержденных инструментов.

Высокопористые эластичные абразивные инструменты изготовляются преимущественно типоразмера 1 (125—300 × 40—60), из зеленого карбида кремния зернистостью 16—8, двух степеней эластичности (П1 и П2). Круги имеют плотность 600—1100 кг/м^3, рабочую скорость — 20—25 м/с, содержат до 60—80 % закрытых пор. Наличие закрытых пор и химическая стойкость эпоксикаучуковой связки дает возможность использовать данный инструмент с применением СОЖ любого состава.

Такие инструменты применяются при зачистке заготовок печатных плат от ингибированного слоя с получением шероховатости обработанной поверхности R_a = 1,25—0,63 мкм, а также при зачистке штанг анододержателей из алюминия марки А5Е.

Для полирования емкостей пищеварочных котлов из нержавеющей стали разработаны и внедрены в производство специальные виды абразивного высокопрочного инструмента — абразивные головки типа FW. При этом применя-

ются инструменты следующих характеристик: 64С 25 ЭКП для предварительной обработки и 64С 12 ЭКП для окончательной обработки. При этом достигается шероховатость полированной поверхности из нержавеющих сталей $R_a \leq$ 0,32 мкм. Внедрение указанных головок позволило заменить ими малоэффективные полировальные круги на связке ПФ и накатанные войлочные круги.

Высокопористый жесткий абразивный инструмент на органической связке применяется, как правило, для обработки деталей из цветных металлов и сплавов, в частности из меди и алюминия.

Для шлифования медных текстильных валов перед нанесением гравировального рисунка разработаны высокопористые шлифовальные круги 1 (200 × × 70 × 50) и сегменты СП 250 × 100 × 40 на фенольной связке СФ, которые содержат 42 % связки и 58 % зеленого карбида кремния зернистостью М28–М10. Пористость инструмента 70–79 %, размер пор 100–150 мкм. В качестве связующего в таком инструменте используются порошкообразные фенолформальдегидные смолы, что позволяет производить сухое смешивание формовочной массы в фарфоровых барабанах с высокой степенью однородности получаемой массы.

На рис. 9.2 представлены образцы высокопористых шлифовально-полировальных кругов на эпоксикаучуковых связках.

Варьируя тип и качество порообразователя, целевых добавок, соотношения между абразивом и полимерной связкой, а также технологические параметры смешивания композиции и отверждения связующего, можно разрабатывать инструмент, обеспечивающий необходимую степень обновления режущих поверхностей в соответствии с требованиями конкретных операций. Технология изготовления инструмента (вспенивание в замкнутых пресс-формах) позволяет использовать любой абразивный материал крупностью от 5 до 630 мкм и достигать пористости инструмента до 85 %.

Подобный инструмент может применяться при зачистке охлаждающих валов из специальной теплопроводной бронзы, которые предназначены для непрерывного производства ленты из аморфной стали, при шлифовании и доводке алюминиевых основ магнитных дисков памяти, а также при шлифовании с глубиной резания до 0,2–0,3 мм деталей из комбинированных материалов, например из цветного металл-полимера.

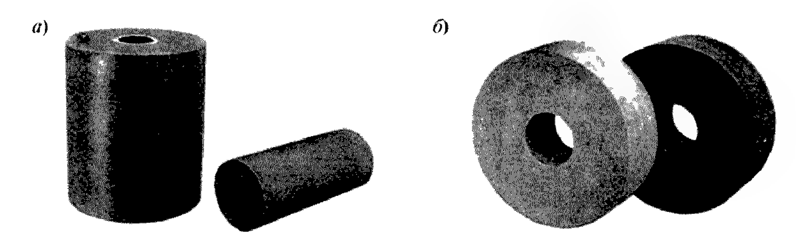


Рис. 9.2. Высокопористые шлифовально-полировальные круги на эпоксикаучуковых связках ЭКП-1 (*а*) и ЭКЖ (*б*) для зачистки печатных плат и для полирования медных гравировальных валов

9.3. Шлифовальные сегменты

Шлифовальные сегменты на бакелитовой связке выпускаются по ГОСТ 2464–82 (изменение № 108, 1984 г.), согласно которому сегменты изготавливаются следующих типов:

СП — прямоугольные;

1С — выпукло-вогнутые;

2С — вогнуто-выпуклые;

3С — выпукло-плоские;

4С — плоско-выпуклые;

5С — трапециевидные;

6С, 7С, 8С, 9С, 10С, 11С — специальные.

Типы и размеры шлифовальных сегментов приведены в табл. 9.1.

Сегменты изготавливаются из следующих шлифматериалов: нормальный электрокорунд марок 15А (зернистостью 50–10), 14А и 13А (зернистостью 125–10); хромтитанистый электрокорунд марок 94А и 93А зернистостью 125–10 и черный карбид кремния марок 54С и 53С зернистостью 125–10.

Зерновой состав шлифовальных материалов соответствует ГОСТ 3647–80.

Сегменты изготовляют классов точности А и Б.

Предельные отклонения линейных размеров для сегментов должны соответствовать следующим квалитетам:

$\frac{\pm JT16}{2}$ — для класса точности А;

$\frac{\pm JT17}{2}$ — для класса точности Б.

Для сегментов типов 1С, 2С и 7С предельные отклонения указаны для разности $r - r_1$. Предельные отклонения угловых размеров не должны превышать +2°.

Допуск параллельности, вогнутость и выпуклость плоских поверхностей или образующей цилиндрических поверхностей сегментов — не более 1,0 мм.

Сегменты контролируются универсальными средствами измерения. Наличие трещин, повреждений и других дефектов контролируют внешним визуальным осмотром.

На поверхности сегмента должно быть четко нанесен товарный знак предприятия-изготовителя и условное обозначение сегмента. Срок хранения сегментов — не более 6 мес. Твердость сегментов определяется по ГОСТ 18118–79 и ГОСТ 25961–83.

Условия обработки при плоском шлифовании и показатели надежности сегментов должны соответствовать параметрам, указанным в табл. 9.2.

Условия обработки и показатели качества при торцевом шлифовании с охлажденной водой кругом диаметром 460 мм, высотой 100 мм из сегментов (28 штук) типа 11С, а также при плоском шлифовании комплектом сегментов (6 штук) типа 6С указаны в табл. 9.3.

Таблица 9.1

Типы и размеры шлифовальных сегментов

Тип	Эскиз	Размеры, мм				
СП		*B*	*H*	*L*		
		40	30	85		
		45	55	60; 80		
		60	20	125		
		60	25	125		
		75	25	150		
		80	25	100; 160		
		90	36	150		
		90	40	150; 160		
		100	40	200		
		110	60	250		
		120	36	150		
		120	40	180		
		125	50	200		
		150	50	250		
		180	63	250		
1С					*r*	r_1
		60	40	75	85	60
		75	50	125	125	105
		90	55	125	180	140
		110	75	150	180	140
		110	90	150	200	170
		140	100	175	125; 150	105
		150	110	200	175; 300	250
2С		80	75	125	170	150
		95	80	175	250	220
3С		110	75	40	180	300
		120	80	45	150	250
		150	85	75	220	200
		210	140	100	300	400
		380	210	240	100	500
4С		100	80	40	220	
		190	180	50	400	

Тип	Эскиз	Размеры, мм			
		B	B_1	*H*	*L*
5С		60	46	20	125
		60	50	16	125
		70	54	25	140(142)
		100	85	40	150; 160; 175
		210	184	86	150; 160; 175
6С					
7С					
8С		25	75	50	90
		38	95	70	110
9С					
10С					
11С					

* Размер для справок.

Таблица 9.2

Параметры показателя надежности сегментов

Характеристика сегментов	Обрабатываемый материал	Припуск на обработку, мм	Рабочая скорость сегмента, об/с	Глубина резания, мм	Охлаждение	Коэффициент шлифования, не менее	Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a, мкм, не более
СП 180 × 63-250 54С 80–63 СТ1, 5С 100 × 40 × 150	Чугун СЧ 18-36 (ГОСТ 1412–85), 180–190 НВ	0,5	20	0,08	Эмульсия: водный раствор 3–4 %-ного эмульсола марки ЭГТ	1,23	2,50
5С 60 × 16 × 125 14А 50–16 СТ3	Сталь 20 (ГОСТ 19265–73), 63–66 HRC,	0,5	26	0,30	Эмульсия: водный раствор $NaCO_3$ 1 %-ного и нитрата натрия 1 %-ного	3,1	1,25
5С 60 × 16 × 125 94А 50-16 СТ3		0,5	26	0,30		0,8	1,25
СП 45 × 55 × 60, СП 80 × 25 × 160, СП 90 × 36 × 150, СП 100 × 40 × 200, СП 120 × 36 × 150, СП 180 × 63 × 250, 1С 75 × 50 × 125 94А 125–63 СМ2	Сталь 40Х (ГОСТ 10702–78), 43–49 HRC,	0,1	33	0,02	Эмульсия: водный раствор 3–4 %-ного эмульсола марки ЭГТ	3,5; 4,2	1,20
1С 60 × 40 × 75, 1С 90 × 55 × 125, 1С 150 × 110 × 200, 2С 95 × 80 × 175, 3С 120 × 45 × 150, 3С 150 × 75 × 220	Сталь 40Х (ГОСТ 10702–78), 43–49 HRC,	0,8	33	0,02		3,5; 4,2	1,20
4С 190 × 50 × 150, 5С 60 × 16 × 125, 5С 60 × 20 × 125, 5С 100 × 40 × 150, 7С 175 × 145 × 175 94А 125–63 СМ2	Сталь 40Х ГОСТ (10702-78), 43-49 HRC,	0,8	33	0,02		3,5; 4,2	1,20
СП 60 × 25 × 125, СП 80 × 25 × 160, СП 90 × 36 × 150, СП 100 × 40 × 200, СП 120 × 36 × 150, 4С 190 × 50 × 150, 5С 60 × 16 × 125, 5С 100 × 40 × 150 54С 50–16 СТ1	Чугун СЧ 30 (ГОСТ 1412-85), 187–229 НВ	0,44	33	0,015	Вода	1,44; 1,72	1,25

Таблица 9.3

Условия обработки и показатели качества кругов, изготовленных из сегментов типа 11С и 6С

Условия обработки и показатели качества	Нормы для сегментов	
	11С 80 × 100 54С 50 СМ1 ВОД	6С 85 × 78 × 50 54С 125 ЗИ 37–41 4Б ВОД
Обрабатываемый материал	Чугун СЧ16–35 180–190 НВ	Мозаичные и бетонные поверхности
Припуск на обработку, мм	0,34	–
Рабочая скорость сегмента, м/с	25	5,2–5,3 – для машины модели СО-111А; 7,5–7,7 – для машины модели СО-199
Глубина резания, мм	0,34	1,8–2,1 – для машины модели СО-111А; 3,2–3,5 – для машины модели СО-199
Скорость подачи, м/мин (продольная подача, мм)	(1,3)	Ручная – для машины модели СО-111А; 4,5–6,5 – для машины модели СО-199
Установленный ресурс, шт., не менее (полный период стойкости, ч, не менее)	1350	(9,5) – для машины модели СО-111А; (4,5) – для машины модели СО-199
Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a, мкм, не более	0,65	–
Режущая способность, см^3/мин, не менее	–	266 – для машины модели СО-111А; 716 – для машины модели СО-199

Пример условного обозначения шлифовального сегмента 5С шириной B = = 100 мм, высотой H = 40 мм, длиной L = 200 мм, из нормального электрокорунда марки 14А, зернистостью 40-Н, степени твердости С1, звуковым индексом 33, номера структуры 6, на бакелитовой связке Б, класса точности А:

5С 100 × 40 × 200 14А 40-Н С1–33 6 Б А ГОСТ 2464–82.

9.4. Абразивные бруски для хонингования

Для изготовления брусков используются следующие материалы: электрокорунд белый зернистостью 40–10, М10 или М7; электрокорунд нормальный зернистостью 16–8; карбид кремния зеленый или черный зернистостью 50, 40, 6; бакелит жидкий вязкостью 8–15 с; пульвербакелит (связующее ПБ) и наполнитель — криолит. Пульвербакелит и криолит перед запуском в производство просеиваются через сито № 02.

Приготовление формовочных смесей производится в лопастных мешалках по рецептуре, указанной в табл. 9.4, а режимы смешивания — в табл. 9.5. После смешивания готовая смесь просеивается через сито № 2,0 и должна быть однородной и сыпучей.

Формование брусков и плит-заготовок производится на гидравлических прессах усилием 0,6; 1,5 и 2,5 МН в зависимости от размера брусков до заданного объема. Бруски зернистостью 50, 40 формуются в размер, остальные — в виде плит-заготовок прямоугольного сечения размером 160 × 110 × h с припуском на высоту заготовки 1 мм.

Таблица 9.4

Рецептуры формовочных смесей при изготовлении брусков для хонингования

Абразивный материал	Зернистость, %	Массовая доля, вес. ч.			Объемный вес сырого изделия, г/см^3
		Жидкий бакелит	Пульвер-бакелит	Криолит	
Карбид кремния	50	4,0	9,0	5,4	2,05
	40	6,6	15,6	9,4	2,00
	6	5,0	11,6	6,3	1,97
Электрокоруид белый	40-70 25-30	2,9	10,4	5,4	2,53
	40	6,9	12,9	8,4	2,34
Электрокоруид нормальный	40-70 25-30	6,3	12,7	8,1	2,20
	10	6,0	11,0	7,1	2,26
Электрокоруид нормальный	16	4,5	9,0	5,7	2,35
	8	4,2	9,8	5,9	2,20

Таблица 9.5

Очередность загрузки компонентов и режимы смешивания формовочной смеси

Очередность загрузки	Наименование компонента	Продолжительность смешивания
1	Шлифзерно + жидкий бакелит	3 мин для зерна № 50–40 5 мин для зерна № 25–6
2	Криолит + пульвербакелит	1–1,5 мин

Разравнивание смеси в пресс-форме производится вручную при помощи "равнялок".

Термообработка брусков производится в электробакелизаторе камерного типа с конечной температурой бакелизации 200 °С. Бруски или заготовки укладываются на силуминовые плиты на расстоянии друг от друга не менее 1 мм и покрываются такими же плитами. Изделия устанавливаются в стопки не более двух плит.

Режим бакелизации: общее время — 13,5 ч; подъем температуры — до 90 °С произвольный; выдержка при 90 °С — 1,0 ч, при 100 °С — 2,0 ч, при 105 °С — 1,5 ч, при 110 °С — 1,5 ч, при 120 °С — 0,5 ч, при 140 °С — 0,5 ч, при 160 °С — 0,5 ч, при 180 °С — 1,0 ч, при 190 °С — 3,0 ч, при 200 °С — 2,0 ч.

Отклонения от режима бакелизации допускаются в пределах ±5 °С. По окончании режима двери бакелизатора открываются через 4—5 ч.

Готовые изделия должны быть темно-коричневого цвета. Зеленый цвет с различными его оттенками или же светло-коричневый свидетельствует о неполной бакелизации.

Механической обработке плоскостей подвергаются плиты-заготовки на плоскообдирочных станках, после чего они разрезаются на бруски заданного

Таблица 9.6

Характеристика и область применения брусков для хонингования

Абразивный материал	Зернистость	Твердость	Материал детали	Операция хонингования
Карбид кремния черный	50	СТ3	Сталь азотированная	Черновая, замена шлифования
Карбид кремния зеленый	40	Т1	Чугун	То же
	6	СТ2–СТ3	Чугун, сталь азотированная	Чистовая
Электрокорунд белый	40	Т1	Аустенитовые трудно обрабатываемые стали Ф2	Черновая, замена шлифования
	40/25	СТ3	Сталь хромированная	То же
Электрокорунд нормальный	16	СТ2–СТ3	Стали нержавеющие, жаропрочные	Предварительная
	8	СТ2–СТ3	То же	Чистовая

размера на отрезных станках. Бруски зернистостью 50 и 40, изготовленные прессованием в размер, механической обработке не подлежат.

Испытанию на твердость подвергается 1 % от партии брусков, но не менее 10 штук. Определение твердости брусков производится на пескоструйном приборе в соответствии с ГОСТ 18118–79 (с 01.01.2008 ГОСТ Р 52587–2006) по режиму испытания: давление 1,5 атм, объем камеры 28 см^3.

Области применения брусков для хонингования представлены в табл. 9.6.

9.5. Инструменты на глифталевой связке

Глифталевая смола, являющаяся связкой, представляет собой продукт взаимодействия глицерина с фталевым ангидридом. В абразивном производстве глифталевую смолу применяют в порошкообразном виде.

Технология изготовления абразивных инструментов на глифталевой связке в основном аналогична технологии изготовления инструмента на порошкообразном бакелите. Абразивная смесь производится в смесительных машинах, для чего шлифматериал, увлажненный глицерином или смесью глицерина с низковязким жидким бакелитом, перемешивается с порошкообразной глифталевой смолой.

Из полученной смеси, протертой через сетку, на гидравлических прессах формуются инструменты заданного типоразмера.

Термическая обработка осуществляется в камерных бакелизаторах при конечной температуре 185–190 °С с общей продолжительностью не менее 5 ч [475]. Ввиду того что в процессе отверждения глифталевой смолы выделяется значительное количество фталевого ангидрида, инструменты для термической обработки ставятся в засыпке электрокорундовым шлифматериалом.

Цвет инструментов на глифталевой связке близок к цвету абразивного материала, из которого они изготовлены. На глифталевой связке изготавливаются инструменты преимущественно из зеленого карбида кремния зернистостью 6–M14, твердость, определяемая пескоструйным прибором, обозначается величиной показания прибора, без перевода на буквенное обозначение.

Сравнительно низкая теплостойкость инструментов на глифталевой связке (120 °С по сравнению с 200–250 °С для инструментов на бакелитовой связке) и невысокая твердость обусловливают их применение для процессов полирования при рабочей скорости не выше 40 м/с.

9.6. Абразивные инструменты (шлифовальные шевера) на органических связках

В машиностроении для окончательной обработки профилей термообработанных цилиндрических колес из легированных конструкционных сталей твердостью $HRC_э$ = 50–68 используют шлифовальные шевера.

Шлифовальный шевер представляет собой зубчатое колесо, зубчатый венец которого изготовлен из абразивного зерна на органических связующих с применением ряда промышленных полимеров, а ступица — из стали или алюминиевого сплава (рис. 9.3).

Операция зубохонингования осуществляется на специальных зубохонинговальных станках. Шевер, установленный на шпинделе станка, вводится в зацепление с обрабатываемым колесом, которое установлено в центре на столе станка. Непосредственно обработка осуществляется при скрещивающихся осях шевера и колеса под углом Σ и при продольной подаче шевера относительно детали и реверсирования вращения шевера (рис. 9.4) [476].

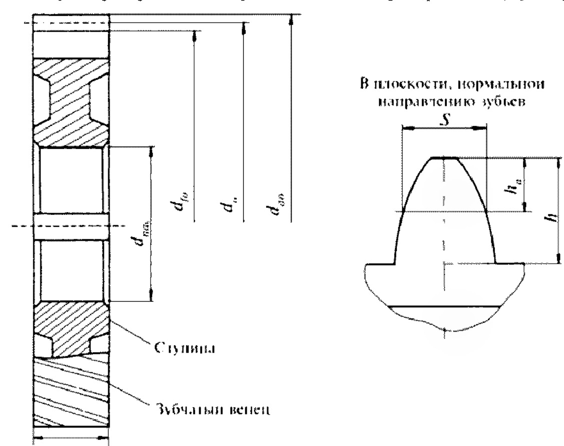


Рис. 9.3. Шлифовальный шевер

Наибольшее распространение шеверы получили при обработке зубчатых колес седьмой-девятой степеней точности по ГОСТ 1643–81. После зубохонингования за цикл обработки (30–60 с) достигаются следующие результаты:

снятие слоя металла по толщине зубьев составляет 0,01–0,03 мм, а забоин и заусенцев — до 0,3 мм;

снижение шероховатости на один-два класса (до седьмого-восьмого класса чистоты);

уменьшение шума в парном зацеплении колес достигает 2–4 дБ;

образование на поверхности зубьев сетки следов, благоприятной для условий гидродинамической смазки;

в поверхностном слое зубьев колес не происходит нежелательных структурных изменений.

Применение шеверов способствует увеличению нагрузочной способности колес на 15–20 % и повышает долговечность в 1,5–2,5 раза.

Рис. 9.4. Схема операции обработки зубчатого колеса шлифовальным шевером

Основные факторы, влияющие на показатели эффективности зубохонингования — физико-механические свойства материалов, из которых изготовлены шевера, их геометрические параметры и точность, а также условия их эксплуатации.

Физико-механические показатели композиционного материала шлифовальных шеверов во многом определяют их работоспособность и зависят от технологических методов их изготовления шеверов, вида и зернистости режущего шлифовального материала, вида связки.

Изготовление зубохонинговального инструмента за рубежом и в нашей стране в последнее время производится с использованием метода литья. В качестве связующих абразивно-полимерных композиций за рубежом чаще всего применяются эпоксидные смолы, их смеси с полиамидом, полиуретан и его смеси с эпоксидной смолой в различных соотношениях.

В нашей стране шеверы изготавливаются из абразивно-эпоксидной композиции методами литья под давлением равном 3–5 МПа [477, 478] и свободного литья [479, 480]. Последний вариант наиболее простой, экономичный, не требует применения сложной оснастки и является наиболее распространенным при промышленном производстве шеверов.

Общая технологическая схема изготовления шеверов методом литья в формы приведена на рис. 9.5. Внутренняя сложнопрофильная поверхность формы изготавливается с использованием металлической копии шеверов (мастер-шеверов). В металлическую форму устанавливается мастер-шевер, центрирование осуществляется по посадочному отверстию.

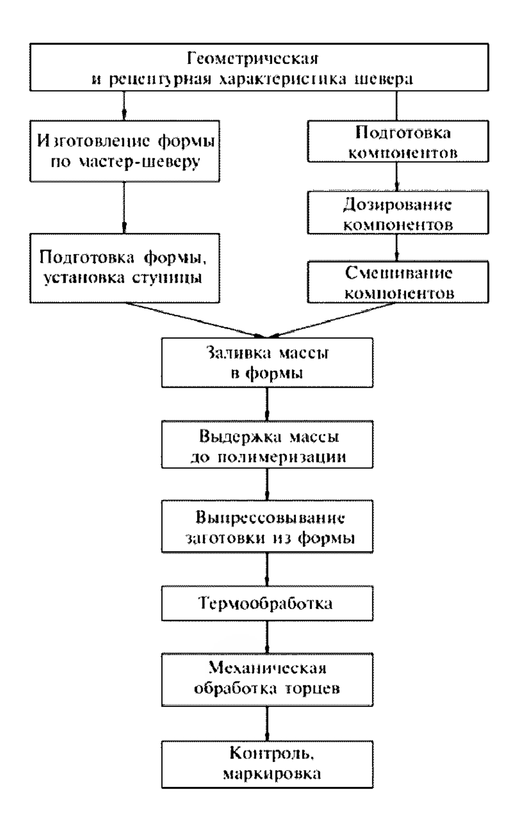


Рис. 9.5. Технологическая схема изготовления шлифовальных шеверов методом литья

Между зубьями мастер-шевера и стенками формы заливается специальная твердеющая композиция, после полимеризации которой в форму вместо мастер-шевера устанавливается металлическая ступица и в свободное пространство заливается состав по рецептуре материала шевера. Предварительное отверждение абразивно-эпоксидной композиции производится при комнатной температуре в течение 3–5 ч, а затем нагреванием до 80–100 °С с выдержкой 5–6 ч.

В качестве основы связки материала шеверов используются эпоксидные смолы марок ЭД-20, ЭД-16, "Эпокси-1200", имеющие хорошие прочностные и адгезионные свойства, сравнительно невысокую усадку [481, 482]. Для пластифицирования смол применяется дибутилфталат или алифатическая эпоксидная смола ДЭГ-1 [483], а также растворители, например ацетон [479–484]. Известны варианты рецептур с пластифицированием композиции каучуками

СКН-26 или тиоколом [485]. Основным отвердителем композиций на эпоксидной основе является полиэтиленполиамин (ПЭПА), реже используются другие отвердители аминного типа или ангидриды кислот (например, малеиновый ангидрид).

Другой полимерной основой материала шеверов являются самотвердеющие акриловые пластмассы, например, марки АСТ-Т [486–488]. Их достоинства — невысокая стоимость, быстрота отверждения при комнатной температуре, отсутствие необходимости в термообработке, а недостатки — большая усадка и дефицитность.

Кроме шеверов на жесткой связке (эпоксидная, акриловая) с модулем упругости E = 3000–6000 МПа разработаны акрилополиуретановые связки с E = 1100–1200 МПа [489, 490]. Повышенную упругость материалу шеверов придает полиуретан СКУ-ПФ [491, 492].

Ненаполненные полиуретаны имеют высокую прочность (σ = 40,0–60,0 МПа), сохраняют эластичность по отскоку в пределах 30–40 % в широком диапазоне твердости, а по износостойкости превосходят все известные эластомеры. Технологическая схема изготовления зубчатых шеверов на основе полиуретана СКУ-ПФЛ представлена на рис. 9.6.

Рецептура для изготовления зубчатых шеверов на основе полиуретана СК-ПФЛ: на 100 вес. ч. шлифзерна — 45–50 вес. ч. связки (в зависимости от крупности абразивных материалов) и 10–20 вес. ч. наполнителя, в качестве которого используются шлифпорошки (для улучшения режущих свойств зубчатых шеверов) или графит (для снижения шероховатости обработанных поверхностей).

Зубчатые шеверы на полиуретановой основе по сравнению с эпоксидными при одинаковых режимах обработки обладают повышенной на 15–20 % износостойкостью и меньшей шероховатостью обработанной поверхности и практически не оказывают влияния на точность геометрических параметров зубчатых колес [493]. Однако полиуретан дефицитен и дорог, поэтому такие шеверы отечественной промышленностью не выпускаются.

Авторами [494] разработана композиция, в которой в качестве заменителя полиуретана применяется олигоэфирциклокарбонат (лакролат), а жесткой составляющей служит эпоксидная смола. При отверждении композиции образуется полиоксигидроксиуретан, имеющий лучшую стабильность свойств во времени, термоокислительную стойкость, хорошие литейные свойства. В зависимости от соотношения в связке лакролата и эпоксидной смолы, содержания в лакролате эпоксидных групп и от времени выдержки при оптимальной конечной температуре термообработки можно получать инструмент различной степени упругости — от жесткого до эластичного (E = 3300–100 МПа).

Авторами [479] разработана технология изготовления абразивных червяков на эпоксидной связке для образования фасок и снятия заусенцев по контуру цилиндрических зубчатых колес. Обработка абразивным червяком производится при взаимном согласованном вращении сцепленных друг с другом обрабатываемого зубчатого колеса и абразивного червяка. Время операции 6–12 с, вспомогательное время на установку 5 с.

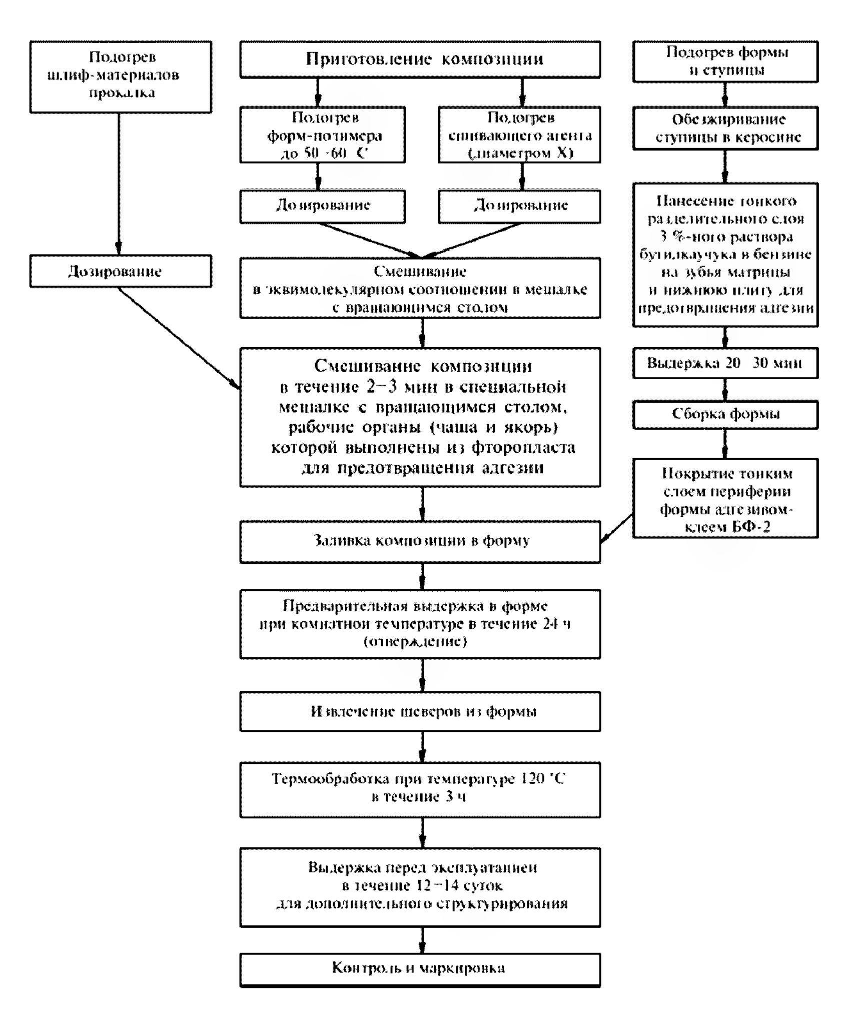


Рис. 9.6. Технологическая схема изготовления зубчатых шеверов на основе полиуретана СКУ-ПФЛ

Использование для изготовления червяков абразивной литьевой смеси на основе эпоксидной смолы позволило отливать абразивные червяки заданной конфигурации (рис. 9.7) без дополнительной их механической обработки. В отличие от абразивных шеверов абразивные червяки на основе эпоксидной смолы ЭД-5 отливают в металлические разборные формы, позволяющие легко извлечь готовое изделие после отвердения.

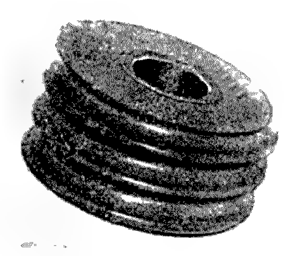


Рис. 9.7. Абразивный червяк на эпоксидной связке

Эксплуатация абразивных червяков на основе эпоксидной смолы показало, что лучшие результаты достигаются при применении монокорунда или нормального электрокорунда зернистостью 12–16.

Шеверы шлифовальные, изготовленные с применением различных шлифовальных материалов, обеспечивают примерно одинаковые режущие свойства, а из монокорунда и электрокорунда белого — несколько выше [494–496].

Классификация шлифовальных шеверов

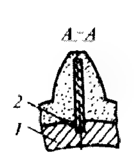
Авторами [497] проведен серьезный анализ известных конструкций шлифовальных шеверов, на основе которого был разработан классификатор, в основу которого были положены форма и особенности конструкции инструмента (табл. 9.7). В качестве квалификационных признаков формы приняты расположение и угол наклона зубьев и форма ступицы, а в качестве конструктивных —

Таблица 9.7

Классификация шлифовальных шеверов

Классификационные признаки		Характеристика признака		Назначение инструмента
основной	вторичный	основная	дополнительная	
Форма	Угол наклона зубьев	Прямой	–	Обработка косозубых колес
		Косой	–	Обработка прямозубых и косозубых колес
	Расположение зубьев	Наружное	–	Общего назначения
		Внутреннее	–	Для повышения производительности процесса
	Форма ступицы	Цилиндрическая	–	Для снижения радиального биения инструмента
		Параллепипедная	–	Общего назначения
		Зубчатая	–	Для обеспечения повышения прочности зубьев

Классификационные признаки		Характеристика признака		Назначение инструмента
основной	вторичный	основная	дополнительная	
Конструкция	Конструкция зубчатого венца	Монолитный	–	Общего назначения
		Многослойный	С подложкой	Для работы с повышенной ударной нагрузкой
			С разнородными слоями	Для регулирования равномерности износа зубчатого венца
	Вид определения венца и ступицы	Жесткое	–	Общего назначения
		Эластичное (с амортизирующим элементом)	С амортизирующей прокладкой	Для работы с повышенной ударной нагрузкой
			С пружинным элементом	
	Конструкция ступицы	Цельная	–	Общего назначения
		Сборная	С разнородными слоями	–
			С демпфирующим элементом	Для обеспечения двухпрофильного хонингования на шевинговальных станках без модернизации и станках с жесткой кинематической цепью привода детали и инструмента. Для обработки колес низкой точности



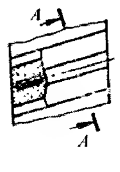


Рис. 9.8. Зубчатый шевер для обработки крупномодульных зубчатых колес:
1 — ступица; *2* — плоские рессоры

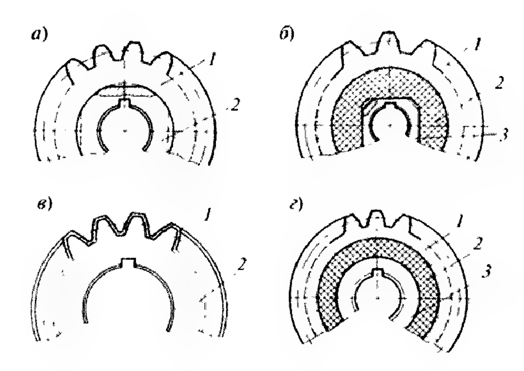


Рис. 9.9. Шлифовальный шевер с наружным расположением зубьев:

а — цилиндрическая ступица: *1* — зубчатый венец; *2* — ступица; *б* — квадратная ступица и амортизирующая прокладка: *1* — зубчатый венец; *2* — резиновая прокладка; *3* — ступица; *в* — зубчатая ступица: *1* — абразивно-полимерный слой; *2* — ступица; *г* — разнослойная ступица: *1* — зубчатый венец; *2* — пластмассовая обечайка; *3* — металлическая втулка

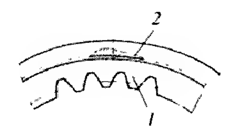


Рис. 9.10. Шлифовальный шевер с внутренними зубьями:

1 — зубчатый венец; *2* — ступица

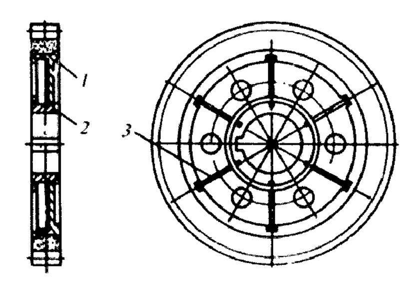


Рис. 9.11. Зубчатый шевер для работы с окружным нагружением на станках с синхронным приводом инструмента и детали:

1 — наружная обойма; *2* — внутренняя обойма; *3* — плоская рессора

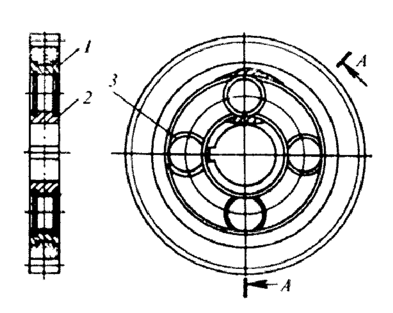


Рис. 9.12. Зубчатый шевер для обработки колес низкой точности:
1 — наружная втулка; *2* — внутренняя втулка; *3* — кольцевые рессоры

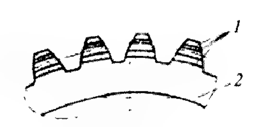


Рис. 9.13. Шлифовальный шевер с многослойным зубчатым венцом:
1 — разнородные абразивно-полимерные слои; *2* — основа зубчатого венца

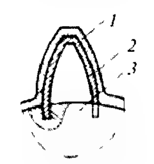


Рис. 9.14. Шлифовальный шевер с подложкой:
1 — абразивно-полимерный слой; *2* — подложка; *3* — основа зубчатого шевера

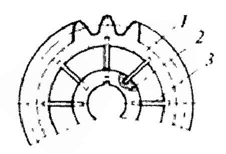


Рис. 9.15. Шлифовальный шевер с плоскими рессорами:
1 — зубчатый венец; *2* — ступица; *3* — рессора

конструкция венца, вид его соединения со ступицей, конструкция ступицы. Различные конструкции шеверов представлены на рис. 9.8—9.15.

9.7. Полировальные круги из тканевых материалов и корда

Полировальные круги из тканевых материалов и корда применяются в различных отраслях промышленности для полирования широкой гаммы изделий из различных материалов (лакокрасочные покрытия, цветные металлы и сплавы, нержавеющие стали и др.) на полировальных станках отечественного и зарубежного производства с применением полировальных паст. Для изготовления указанных кругов используются хлопчатобумажные ткани (бязь, фланель, саржа), палаточные и плащевые ткани и сизаль.

Предусмотрено изготовление полировальных кругов, обработанных пропиточными минеральными составами.

В зависимости от материала полируемой поверхности изделия, исходной и требуемой шероховатости поверхности, формы рельефа поверхности, режимов обработки выбираются конструкции и характеристики полировальных кругов (материал круга, пропитка и т. д.). Круги, не обработанные пропиткой, изготавливают без обозначения. Круги, обработанные пропиткой, обозначаются индексом: П — нормальная пропитка, П1 — жесткая пропитка, П2 — мягкая пропитка.

Выпускаются 14 типов полировальных кругов по ТУ 2-036-814—88 (рис. 9.16), в том числе:

1) свободноскладчатые типов 1С, 2С, 3С размером ∅80—50 × 10—20 × S 19/6 — ∅175 мм;

2) равномерно-складчатые типов 2Р и 3Р размером ∅150—500 × 10—20 × S 19/6 — ∅175 мм;

3) дисковые типа Д размером ∅200—350 × 8—15 × 0—40 мм;

4) волновые типа 2В размером ∅400 × 35 × 175 мм;

5) кордовые типов 1К, 2К, 3К, 5К, 6К, 7К и 8К размером ∅80—400 × 10—50 × S 19/6 — ∅175 мм.

Круги хлопчатобумажные равномерно-складчатые и свободноскладчатые (см. рис. 9.16, *а*) предназначены для окончательного полирования плоских рельефных поверхностей из сплавов цветных металлов и обладают высокой эластичностью.

Круги сизалетканевые (см. рис. 9.16, *б*) предназначены для предварительного полирования изделий из нержавеющих сталей и окончательного полирования

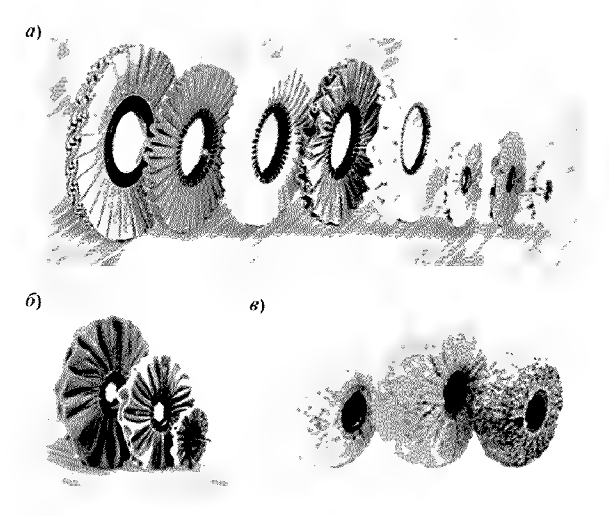


Рис. 9.16. Полировальные круги из тканевых материалов и корда:

а — круги хлопчатобумажные равномерно-складчатые и свободноскладчатые; *б* — круги сизалетканевые; *в* — круги кордовые сизалевые

изделий из алюминия под анодирование. Сизалетканевые круги изготавливают из сизалевого полотна, обшитого с двух сторон хлопчатобумажной тканью. Круги обрабатываются пропиточным составом.

Круги кордовые сизалевые (см. рис. 9.16, *в*) используют для предварительного полирования изделий из нержавеющих сталей и изготавливают из сизалевого канатика, расположенного в круге радиально. Круги обрабатываются пропиточным составом.

Авторами [498] разработана технология изготовления свободноскладчатых тканевых полировальных кругов повышенной износостойкости, достигаемой за счет использования в конструкции круга тканей из синтетических и натуральных волокон, пропитанных специальным составом с последующей сушкой в сушильной камере. В процессе пропитки возрастает прочность ткани на разрыв с 1250 до 1450 Н, увеличиваются стойкость к истиранию по плоскости в 5–6 раз и коэффициент жесткости в 2–2,5 раза; при этом круг остается эластичным и гибким. При выборе тканей для изготовления свободноскладчатых полировальных кругов учитывается не только их сырьевой состав, структура переплетения и прочностные факторы, но и изменение свойств пропитанных тканей в процессе эксплуатации кругов (термостойкость, совместимость с жидкими, мазеобразными и твердыми полировальными пастами).

В качестве пропиточного состава используется водный раствор поливинилацетатной дисперсии с добавлением смачивателя 5–20 %-ной концентрации в зависимости от требуемой жесткости ткани полировального инструмента.

Условия обработки и результаты производственных испытаний приведены в табл. 9.8 и 9.9.

Таблица 9.8

Результаты производственных испытаний опытных свободноскладчатых полировальных кругов при полировании столовых приборов по сравнению с серийными кругами

Характеристика круга	Тип полировального станка	Обрабатываемая заготовка	Условия обработки				Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм (ГОСТ 2789–73)	Установленный ресурс, шт.*
			Количество кругов в комплекте, шт.	Рабочая скорость, м/с	Время обработки, с	Шероховатость исходной поверхности R_a, мкм		
1С 120 × 10 × 19 Х2П1 опытный	ПП-4	Черпак ложки, сталь 12Х18Н9	60	18	50	0,10	0,05	1000
1С 120 × 10 × 19 Х2 серийный	ПП-4		60	18	50	0,10	0,05	500
1С 90 × 10 × 19 Х2П1 опытный	ПП-4	Копье вилки, сталь 12Х18Н10Т	90	14	60	–	0,13	300
1С 90 × 10 × 19 Х2 серийный	ПП-4		90	14	60	–	0,15	150

Характеристика круга	Полировальный станок	Обрабатываемая заготовка	Условия обработки				Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм (ГОСТ 2789–73)	Установленный ресурс, шт.*
			Количество кругов в комплекте, шт.	Рабочая скорость, м/с	Время обработки, с	Шероховатость исходной поверхности R_a, мкм		
1С 90 × 10 × 19 Х2П1 опытный	Автомат фирмы Mapos (Италия)	Копье вилки, нейзильбер МНЦ-15-20	50	35	35	–	0,16	350
1С 90 × 10 × 19 Х2 серийный			50	35	35	–	0,16	120

* Установленный ресурс — количество заготовок, обрабатываемых одним полировальным кругом до полного его износа.

Таблица 9.9

Результаты производственных испытаиий опытных свободноскладчатых полировальных кругов при полировании лакированной поверхности мебельных щитов из древесины на станке типа П-1Б

Характеристика круга	Условия обработки				Полный период стойкости, ч*	Блеск лакового покрытия по рефлектоскопу Р-4 (ОСТ 13-27–82)
	Скорость подачи заготовки, м/мин	Скорость полировального барабана, м/с	Время обработки, с	Усилие прижима барабана к обрабатываемой поверхности, кг/см^2		
2С 400 × 15 × 175 Х2П1 опытный	8	19	240–420	8–11	1100	10
2С 400 × 15 × 175 Х4 серийный	8	19	240–420	8–11	480	10

* Полный период стойкости — количество часов работы полировального круга до полного его износа.

Производственные испытания показали, что предложенная авторами технология изготовления свободноскладчатых тканевых полированных кругов позволяет в 2–2,5 раза увеличить их эксплуатационные показатели [499].

Оборудование для производства полировального инструмента из хлопчатобумажных тканей

При изготовлении полировального инструмента из хлопчатобумажных тканей применяется разнообразное стандартное оборудование для разрезки ткани на полосы и бобины, для изготовления металлической арматуры, посадочных отверстий кругов и др.

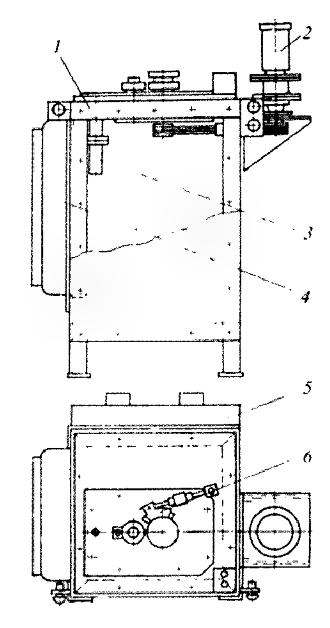


Рис. 9.17. Вальцовочный станок:

1 – рама; *2* – механизм гибки полос с приводом; *3* – гидроцилиндр; *4* – пульт управления; *5* – пневмогидропанели; *6* – направляющее устройство

Формирование посадочного отверстия производится на вальцовочных станках и специальных калибровочных прессах. Вальцовочный станок (рис. 9.17) производит гибку зубчатой полосы (предварительно вырубленной на обыкновенных прессах высадочными штампами) в кольца высотой от 28,4 до 39,2 мм с внутренними посадочными диаметрами 75, 127, 203 и 305 мм. Производительность станка, шт./ч: для диаметра 75 мм — 300; для 127 мм — 270; для 203 мм — 250; для 305 мм — 200. Частота вращения ведущего ролика 32 об/мин; габаритные размеры (длина × ширина × высота) 900 × × 810 × 1140 мм; масса 130 кг.

Калибровочный пресс (рис. 9.18) калибрует кольца, изготовленные из зубчатой полосы с внутренними диаметрами 75, 127, 203 и 305 мм, с производительностью 400 шт./ч; габаритные размеры пресса (длина × ширина × × высота) 595 × 530 × 895 мм; масса пресса 147 кг.

Формование кругов производится на ирисовых станках (рис. 9.19). Название "ирисовый" станок получил от основного механизма, имеющего конструкцию диафрагмы фотоаппарата, состоящей из серповидных пластинок-лепестков, образующих почти круглое отверстие, которое может плавно изменяться. В таком станке указанный механизм позволяет уложить полосу материала в ступицу полировального круга. Производительность ирисового станка 50 шт./ч кругов диаметром от 160 до 550 мм; расход воздуха на цикл 0,1 $м^3$ при давлении $6 \cdot 10^5$ Па. Габаритные размеры станка (длина × ширина × высота) 3040 × 1350 × 2730 мм; масса 1400 кг.

Обрезной станок (рис. 9.20) производит обрезку периферии полировальных кругов диаметром 160—550 мм дисковым ножом на поворотном столе станка, имеющем частоту вращения 6, 8 и 75 об/мин при частоте вращения ножа 15000 об/мин. Габаритные размеры (длина × ширина × высота) 1010 × 860 × × 1650 мм; масса станка 440 кг.

В целях упрочнения ткани полировального круга, сохранения его формы и удержания в ткани при обработке полирующих паст круги подвергаются пропитке специальными растворами на специальной установке (рис. 9.21) по следующей схеме. Полировальные круги определенного типоразмера укладываются в специальные вставки, устанавливаемые в барабаны, которые с помощью электропогрузчика переносят на рельсовый путь установки. Затем подъемно-передвижной тележкой барабаны загружаются в пропиточные баки. После окончания пропитки полировальных кругов барабан поднимается

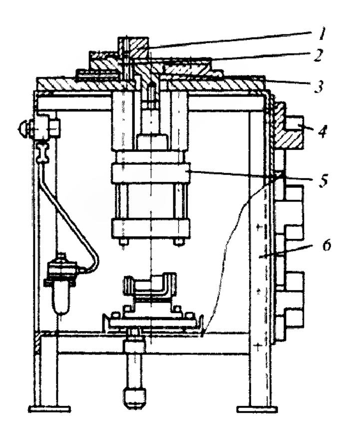


Рис. 9.18. Калибровочный пресс:

1 — натяжные кулачки; *2* — калибрующее устройство; *3* — эксцентрик; *4* — плита; *5* — пневмоцилиндр; *6* — рама

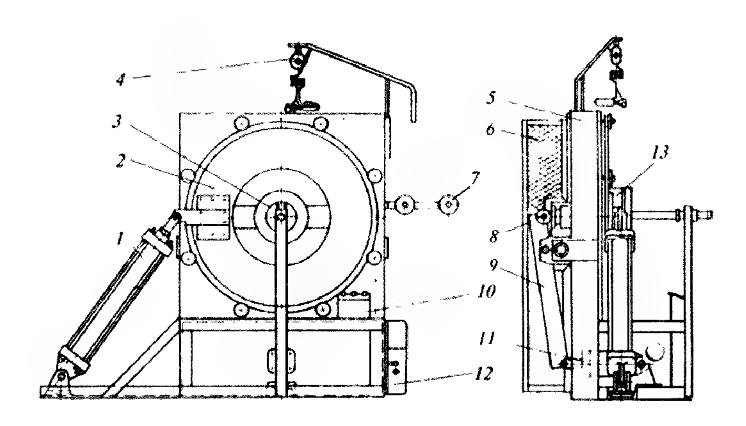


Рис. 9.19. Ирисовый станок:

1 — пневмоцилиндры; *2* — ирисовая диафрагма; *3* — запорная плита; *4* — пневматические ножницы; *5* — станина; *6* — ограждение; *7* — кронштейн с катушками; *8* — толкатель; *9* — механизм прижима; *10* — пульт управления; *11* — пневмоцилиндр; *12* — пневмопанель; *13* — сменные барабаны

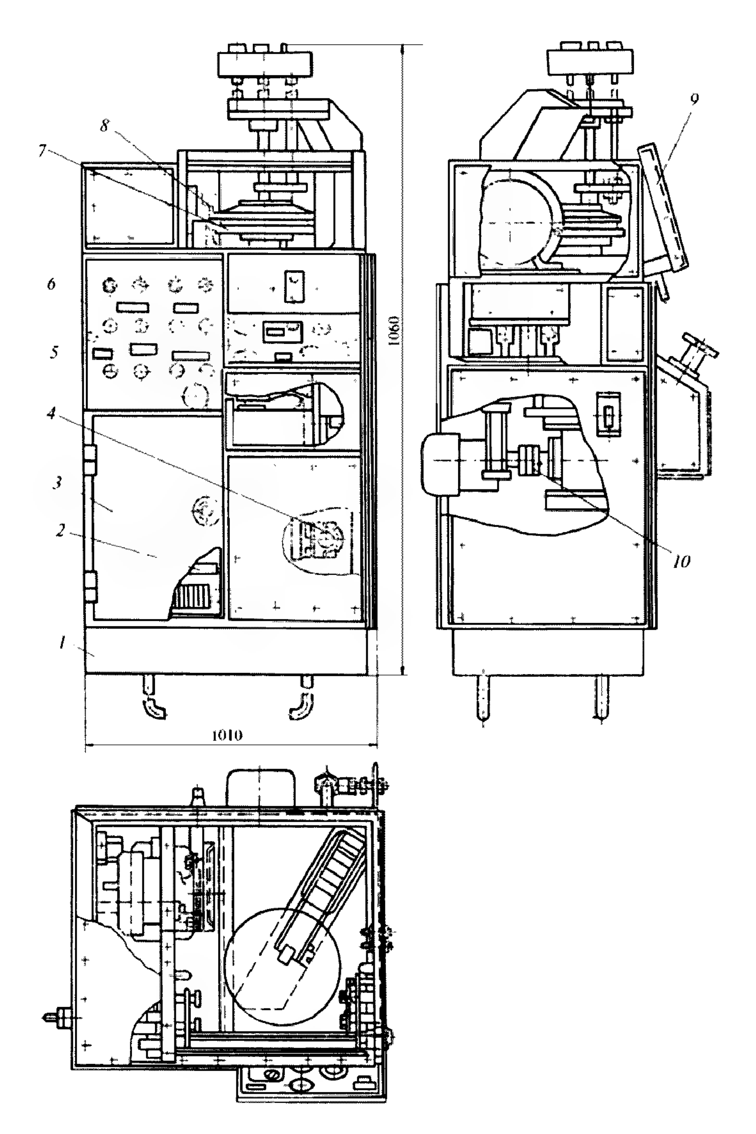


Рис. 9.20. Обрезной станок:

1 — рама; *2* — панель управления; *3* - дверца; *4* — пневмопанель; *5* - панель контрольных приборов; *6* — пульт управления; *7* — поворотный стол; *8* — дисковый нож; *9* — кожух; *10* — упругая муфта

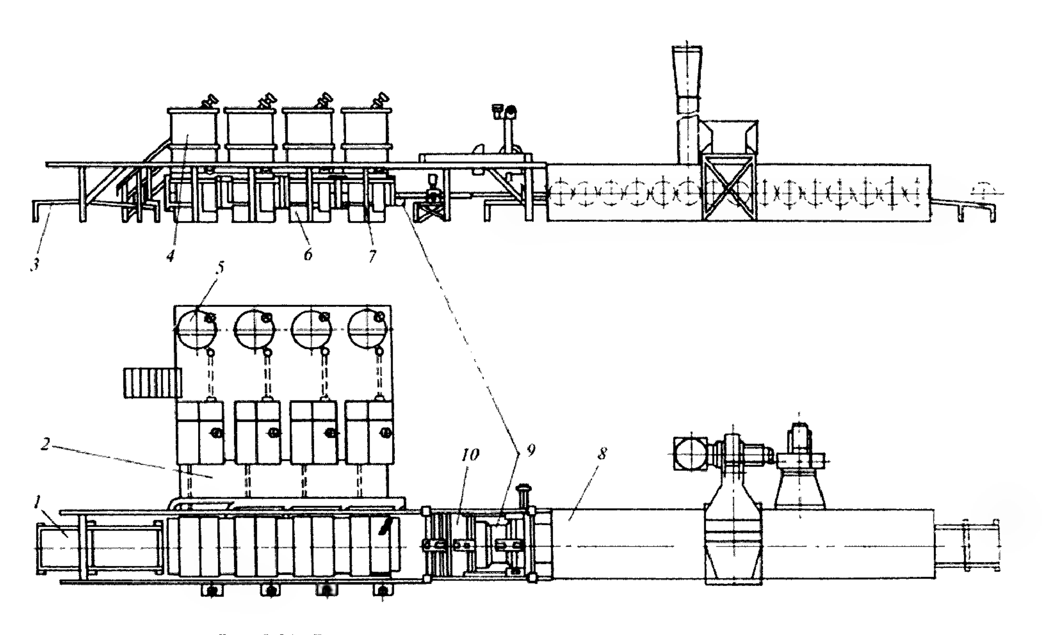


Рис. 9.21. Схема установки для пропитки полировальных кругов:

1 — рельсовый путь; *2* — металлоконструкция; *3* — барабаны; *4* — баки для хранения растворов; *5* — баки для смешивания растворов; *6* — пропиточные баки; *7* — рельсовый путь подъемника; *8* — сушильная камера; *9* — шаговый конвейер; *10* — подъемно-передвижная тележка

в верхнее положение, включается привод вращения барабана, что обеспечивает предварительную сушку полировальных кругов центробежным способом. После завершения цикла предварительной сушки тележка перемещает барабан с полировальными кругами на шаговый конвейер, передающий его в сушильную камеру, где одновременно размещаются 15 барабанов. Подачу барабанов в камеру производят каждые восемь минут. Время нахождения барабана в сушиле составляет 2 ч. После завершения сушки барабаны погрузчиком транспортируются на участок разборки, где полировальные круги выгружают и устанавливают в стопки. Барабаны и вставки промывают уайт-спиритом и возвращают на участок загрузки.

Библиографический список

1. Абразивные материалы и инструменты: Отрасл. кат. / ВНИИТЭМР. М., 1991. 320 с.

2. **Ивакин В.Д., Шмыгина Т.Г., Поткин Г.Б.** Обозначение характеристик абразивных материалов и инструментов, выпускаемых зарубежными фирмами / ВНИИТЭМР. М., 1988. 63 с.

3. **Глаговский Б.А., Московенко И.Б., Славина Л.Я.** Звуковой индекс и его применение в качестве критерия оценки качества абразивных инструментов // Труды ВНИИАШ. Л., 1976. С. 46–57.

4. **Глаговский Б.А., Московенко И.Б.** Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении. М.: Машиностроение, 1977. С. 208.

5. **Курносов А.П.** Абразивные инструменты и шлифование: Справ. // Абразивы Урала. Челябинск, 2000. 92 с.

6. **Кремень З.И., Юрьев В.Г., Бабошкин А.Ф.** Виды шлифования и выбор характеристик абразивных кругов. СПб.: Инструмент и технологии, 2002. 54 с.

7. **Любомудров В.Н., Васильев Н.Н., Фальковский Б.И.** Абразивные инструменты и их изготовление. М.; Л.: Машгиз, 1953. 376 с.

8. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента: Учеб. пособие для техникумов / В.Н. Бакуль, Ю.И. Никитин, Е.Б. Верник, В.Ф. Селех. М.: Машиностроение, 1975. 295 с.

9. Правила безопасности для абразивов на связках и прецизионных суперабразивов // FEPA – Федерация европейских производителей абразивов.

10. **Файнберг М.Д.** Станки для испытания шлифовальных кругов на прочность // Абразивы. 1970. Вып. 3. С. 5–30.

11. **Акунова Л.Ф., Приблуде О.З.** Материаловедение и технология производства художественных керамических изделий. М.: Высш. шк., 1979. 346 с.

12. Полевошпатовое сырье для керамической промышленности. Сер. 5: Промышленность строительных материалов / ВНИИЭСМ. М., 1988. Вып. 1. 69 с.

13. **Французова И.Г.** Общая технология производства фарфоровых и фаянсовых изделий бытового назначения. М.: Высш. шк., 1991. 192 с.

14. **Козырев В.В.** Сырьевая база полевошпатовой промышленности СССР и пути ее развития // Проблемы производства и использования полевошпатового сырья. Апатиты: Изд-во АН СССР. Кол. ф-ла, 1980. С. 10–29.

15. **Магидович В.И.** Щелочные микроклиносодержащие каолины УССР. М., 1963. 31 с.

16. **Сивоконь В.И.** Щелочные каолины Просяновского месторождения — источник высококалиевого полевошпатового сырья // Стекло и керамика. 1965. № 8. С. 10–15.

17. Получение и испытание компонентов керамических связок из щелочных каолинов Дубровского месторождения / В.Н. Кочуков, С.М. Федотова, В.В. Волкова, В.А. Курнукин; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1983. Вып. 3. С. 19–24.

18. **Хачманукян М.А.** Разработка процессов обогащения и доводки трахитов с применением эффектных реагентов на основе изучения механизмов их действия: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 1986.

19. Перлиты Закарпатья — сырье для керамической промышленности. Львов: Высш. шк., 1976. 65 с.

20. Исследование некоторых физико-химических свойств стекол, используемых в производстве абразивного инструмента на керамической связке / В.И. Могиленский, И.П. Клюев, М.Г. Эфрос, Н.К. Петров // Труды ВНИИАШ. Л., 1986. С. 17–18.

21. **Варгин В.В.** Технология эмали и эмалирование металлов. М., 1958.

22. Химическая технология стекла и ситаллов / Н.М. Павлушкин, М.В. Артамонова, М.С. Асланова и др. М.: Стройиздат, 1983. 432 с.

23. **Уорелл У.** Глина и керамическое сырье. М.: Мир, 1978.

24. **Бердический И.М., Букия О.Б., Замарашкина М.Г.** Справочник мастера-фарфориста. М.: Легпромбытиздат, 1992. 224 с.

25. **Мороз И.И.** Фарфор, фаянс, майолика. Киев: Техника, 1975. 351 с.

26. Государственный запас полезных ископаемых. М.: Союзгеологфонд, 1966–1968. Вып. 31: Глины огнеупорные. 1966; Вып. 50: Каолины. 1968.

27. Сравнительная характеристика глинистого сырья для керамических связок / В.В. Волкова, В.Н. Гавриш, В.Н. Кочуков, С.М. Федотова; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М.: 1983. Вып. 10. С. 1–9.

28. Сырьевая база волластонита для керамической промышленности. Промышленность строительных материалов. Сер. 5: Керамическая промышленность / ВНИИЭСМ. М., 1988. Вып. 2. 67 с.

29. **Филоненко Н.Е.** О взаимодействии связки с корундом при термической обработке керамического черепка // Доклады АН СССР. М., 1947. Т. 58, № 8. С. 1723–1725.

30. **Филоненко Н.Е.** Контактное минералообразование в корундовом абразивном черепке // Труды 4-го совещания по экспериментальной минералогии и петрографии АН СССР. М., 1953. Вып. 1. С. 123–128.

31. **Филоненко Н.Е.** О влиянии реакционной способности и структуры связки на механические свойства корундового керамического черепка // Доклады АН СССР. М., 1948. Т. LXI, № 5. С. 873.

32. **Филоненко Н.Е.** Петрографические основы выбора керамических связок абразивных изделий // Труды сессии ВНИТО силикатной промышленности о достижениях советской науки в области силикатов за 30 лет. М.: Промстройиздат, 1949. С. 344–349.

33. **Мозер М.** Закономерности в строении шлифовальных инструментов // Period. Polytechn. Chem. Eng. 1971. Vol. 15, N 4. P. 341–350.

34. **Мозер М.** Исследования фазовой границы между зернами электрокорунда и керамической связки в шлифовальном инструменте на керамической связке // Berichte DKY. 1972. Bd. 49, N 10. С. 343–346.

35. **Августиник А.И., Попов К.Г.** Методика исследования взаимодействия корунда с керамической связкой // Труды ВНИИАШ. № 15. Л., 1974. С. 101–105.

36. **Августиник А.И., Попов К.Г., Берлинов Х.В.** Определение вязкости составов, применяемых в качестве керамических связок для абразивных инструментов // Труды НИПКИММИ. Т. VIII. София, 1971. С. 96–100.

37. Распределение глинозема в стекловидной керамической связке абразивного инструмента / Г.И. Ливерант, О.Ф. Щербак, Ю.В. Лагунов, А.Н. Курасов; НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 2. С. 14–18.

38. Исследование свойств керамических связок в системе каолин — полевой шпат — кварц методом статистического планирования экспериментов / А.А. Пыльнев,

Н.С. Угликова, Е.Г. Новикова, А.К. Никитин; НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. Вып. 5. С. 7–11.

39. **Угликова Н.С., Пыльнев А.А., Новикова Е.Г.** Изучение свойств абразивного инструмента на керамических связках / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. № 8. С. 14–19.

40. Свойства абразивного инструмента на керамической связке в системе каолин – полевой шпат — борная фритта / А.А. Пыльнев, Н.С. Угликова, Е.Г. Новикова, А.К. Никиташ; НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. № 11. С. 10–17.

41. Влияние химического состава керамических связок на прочностные свойства абразивного инструмента / Н.С. Угликова, С.Н. Филипков, В.И. Бурмистров, А.А. Солодкина; НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. № 2. С. 6–10.

42. **Угликова Н.С., Гладков В.Е., Новикова Е.Г.** Методика определения области стекловидных керамических связок в системе каолин — полевой шпат — борное стекло / НИИМАШ // Труды ВНИИАШ. № 15. М., 1979. С. 98–101.

43. **Згонник Н.П.** Влияние обжига на свойства инструментов из электрокорунда белого / НИИМАШ // Абразивы. М., 1963. № 1 (33). С. 14–24.

44. **Шиманский А., Шиманская Я.** Влияние термической обработки на свойства корундового абразивного инструмента // Труды ВНИИАШ. № 15. Л., 1974. С. 93–98.

45. А. с. 312752 МПК В24d 3/14. Керамическая связка для абразивного инструмента. П.В. Переверзев, В.А. Барановский, А.Ф. Анисимова, А.Д. Глушкова, А.Н. Овечкина. Опубл. 31.08.1971. Бюл. № 26.

46. А. с. SU 1198088A (51)4 C09 K 3/14. Масса для изготовления абразивного инструмента. Ю.Ф. Юликова, Г.П. Зайцев, И.В. Лавров. Опубл. 15.12.1985. Бюл. № 46.

47. А. с. 634923 В24D 3/14 C04 В 31/02 (53) 621. Керамическая связка для абразивного инструмента. К.М. Бурханова, Л.А. Волович, Р.М. Галабурда, Г.И. Ливерант, С.Б. Лунцик, А.Н. Порада, М.М. Полонскии, В.И. Полянский. Бюл. № 44. Опубл. 10.08.78.

48. А. с. 517203 51 М Кл[2] В24D 3/14. Керамическая связка / Б.А. Брянцев, С.Г. Воронов, З.И. Кремень, Н.В. Куленко, В.С. Лысанов, З.М. Прозорова, М.З. Равинский, М.Г. Эфрос.

49. А. с. 306721 Кл 67С1(1324Д). Керамическая связка для абразивного инструмента / Б.А. Брянцев, О.С. Игнатьев. Опубл. 25.10.68 // Изобретения, пром. тов. знаки. 1968. № 19.

50. Пат. 6086467 США, МПК 7 В24D3/34. Круг на керамическои связке; Опубл. 11.07.2000.

51. Пат. ПНР 128034 МКИ 1324 D 3/14 C04B 33/02. Масса для изготовления абразивного инструмента / Х. Циковская, С. Хенрик и др. № 225739; Заявл. 17.07.80; Опубл. 31.10.85.

52. Повышение прочности абразивного инструмента методом ситаллизации керамической связи / К.М. Буханова, В.Л. Ковенькина, В.Л. Толстунов, Н.С. Захарова // Технология и организация производства. Киев, 1983. № 4. С. 44–46.

53. А. с. 859408 3(51) СОУК 3/14 (53) 621. Стеклосвязка для корундового абразивного материала / П.Г. Усов, Е.П. Цымбалюк, В.А. Логов, В.И. Верещагин. Заявл. 20.01.77; Опубл. 22.01.78. Бюл. № 1.

54. **Шиманский А., Бакин А.** Стеклокерамика в качестве связки абразивных кругов // Интергриндей-97: Труды конф. Будапешт, 1979. С. 237–248.

55. **Брянцев Б.А., Кабанов В.С., Кириченко А.Э.** Изучение термических свойств стеклосвязок для абразивного инструмента // Силикатные материалы из минерального сырья. Л., 1983. С. 53–63.

56. Неорганические стекла, покрытия и материалы / Л.Я. Берзин, Ю.Я. Эйдук, В.Э. Швинка и др. // Рига, 1983. № 6. С. 39–46.

57. **Пониванова Н.** Исследование возможности использования стеклокерамических материалов как связки для электрокорундовых абразивных инструментов // INTERORIND 79: Материалы конф. Будапешт, 1979. С. 191–200.

58. А. с. № 264186 кл 67 с1 (В24 D). Способ термической обработки абразивных изделий / Ф.Я. Галахов, Н.П. Згонник, Ф.И. Фрейдлин (СССР). Опубл. 04.06.70. Бюл. № 10.

59. **Згонник Н.П., Фрейдлин Ф.И.** Физико-химические свойства абразивного инструмента из электрокорунда на ситалловой связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1969. Вып. 4. С. 17–20.

60. **Филимонов Л.Н., Фрейдлин Ф.И.** Исследование закаленных сталей кругами на ситалловой связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. Вып. 3. С. 31–33.

61. А. с. 655519 кл. B24D 3/14. Масса для изготовления абразивного инструмента / Я.З. Дукаревич и др. Опубл. 02.05.70. Бюл. № 3.

62. Взаимодействие керамических связок со шлифзерном легированных электрокорундов / Ю.Ф. Юликова, И.Я. Ривлин, А.И. Хазанова и др. // Труды ВНИИАШ. Л., 1991. С. 3–5.

63. **Никитина Т.Н.** Влияние режима термической обработки на микроструктуру абразивного черепка из легированных корундов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. № 6. С. 16–17.

64. **Филоненко Н.Е., Лавров И.В.** Петрография искусственных абразивов. М.: Машгиз, 1958. 85 с.

65. **Торопов Н.А. и др.** Диаграммы состояния силикатных систем: Справ. Л.: Наука, 1969. Вып. 1.

66. Абразивный инструмент из титанистого электрокорунда / М.И. Шаварина, А.М. Карташев, Г.М. Зарецкая и др.; НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 2. С. 8–14.

67. **Згонник Н.П., Сохор М.И., Хазанова А.И.** Влияние параметров режима термической обработки на концентрацию твердых растворов в легированных электрокорундах и на окраску абразивного инструмента из них / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. № 9. С. 8–11.

68. **Карлин В.В., Сохор М.И., Хижняк Н.П., Хазанова А.И. и др.** О хромтитанистом электрокорунде/ НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. Вып. 9. С. 6–9.

69. А. с. 931446 (51) М Кл³ B24D 3/14. Масса для изготовления абразивного инструмента / М.Г. Эфрос, Ю.Ф. Юликова, З.М. Прозова, И.Т. Ивашинников, А.Д. Глушкова, А.Ф. Анисимова. Опубл. 30.05.82. Бюл. № 20.

70. **Воронов С.Г., Сверчкова И.Н.** О влиянии состава связки и некоторых характеристик шлифзерна монокорунда на физико-механические и эксплуатационные свойства шлифкругов / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1964. Вып. 2 (40). С. 14–19.

71. Разработка и промышленное внедрение абразивных инструментов из хромтитанистого электрокорунда на керамических связках / Ю.Ф. Юликова, С.М. Федотова, Л.И. Мишина и др. // Труды ВНИИАШ. Разработка и исследование прогрессивных видов абразивного инструмента. Л., 1986. С. 3–17.

72. **Галишников Н.И., Караулов Е.В.** Режущая способность шлифовальных кругов из хромтитанистого электрокорунда марки 91А на операциях плоского шлифования / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. Вып. 4. С. 1–3.

73. **Каверин В.М., Галишников Н.И., Тимофеев И.И.** Применение абразивного инструмента из хромтитанистого электрокорунда марки 91А / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. Вып. 11. С. 7–13.

74. Абразивные инструменты для скоростного шлифования и области их применения: Метод. рекомендации / Ю.Ф. Юликова, С.М. Федотова, М.Г. Гессель, Г.И. Волков; НИИМАШ. М., 1982. 32 с.

75. А. с. SU 1710323A1 (51)5 B24D 3/00. Формовочная смесь для изготовления абразивного инструмента / М.Г. Эфрос, З.М. Прозорова, С.М. Федотова, В.С. Буров, В.М. Коломазин, Г.И. Лемеш. Опубл. 07.02.92. Бюл. № 5.

76. Керамическая связка для электрокорунда нормального / В.Г. Ивашинников, А.Ф. Анисимова, З.И. Ахметова, Н.С. Угликова; НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. Вып. 12. С. 24–27.

77. Изготовление шлифовальных кругов повышенной твердости и прочности путем использования шлифовальных материалов различных зернистостей / Ю.Ф. Юлико-

ва, И.В. Лавров, А.Л. Евтина, Л.А. Лобанова; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. Вып. 1. С. 6–12.

78. А. с. 700526. (5+) МКл[3] В241D 3/14. Масса для приготовления абразивного инструмента / И.В. Лавров, Ю.Ф. Юликова, А.А. Евтина. Опубл. 1979. Бюл. № 44.

79. Gugel E., Hennike H.W., Schuster P. К образованию пленки SiO_2 на SiC // Berichte der D. K. Geselschaft. 1969. N 9. С. 481–490.

80. **Жехул Е., Тешнер Р.** Лабораторное исследование влияния качества и количества флюсов в керамической связке на разрывную прочность абразивных материалов // Szklo i Ceramika. 1974. Т. 25, № 6. С. 170–172.

81. **Ditzel A.** Die Bildung von Siliziumkarbid aus Siliziumdioxyd und Kolenstoff // Berichte Dtsch Keram. Ces. 1962. Bd. 39. № 8. S. 141–145.

82. А. с. 434005 (51) М Кл В24d 3/14. Керамическая связка / Н.Е. Филоненко, Г.П. Никитина, С.М. Федотова. Опубл. 30.06.74. Бюл. № 24.

83. **Згонник Н.П., Широкова Е.Н.** Повышение качества абразивного инструмента из карбида кремния/ НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. № 2. С. 8–9.

84. А. с. 967787 (51) М Кл[3] В24D 3/14. Керамическая связка для абразивного инструмента / Н.П. Петров, В.И. Могилевский, В.Н. Мартынов, В.В. Тищенко, Ю.М. Немов, М.А. Воскобойников, А.А. Куров. Опубл. 23.10.82. Бюл. № 39.

85. А. с. 596429 51 М Кл[2] В24D 3/14. Керамическая связка / С.М. Федотова, М.М. Камнецева. Опубл. 05.03.78. Бюл. № 9.

86. А. с. 425772 (51) М Кл. В24d 3/14. Керамическая связка / С.М. Федотова, С.Г. Воронов, Т.И. Наумова, Т.Б. Полякова. Опубл. 30.04.74. Бюл. № 16.

87. А. с. SU 1138303 4 (51) В24D 3/14. Керамическая связка / В.В. Волкова, В.А. Колногузенко, В.И. Кочуков, Ю.В. Логунов, С.М. Федотова. Опубл. 07.02.85. Бюл. № 5.

88. **Гришин Я.В., Надеева И.В., Чеканова Е.А.** Исследование контактной зоны композиции карбид кремния — керамическая связка // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразивы-2001: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2001. С. 124–125.

89. **Чеканова Е.А., Надеева И.В.** Исследование контактной зоны зерно—связка методом локального микрорентгеноспектрального анализа // Процессы абразивной обработки, абразивный инструмент и материалы. Шлифабразивы-2002: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2002. С. 28–31.

90. **Згонник Н.П.** К вопросу активной химической связи между абразивным зерном карбида кремния и керамической связкой / НИИМАШ // Абразивы. М., 1968. Вып. 3. С. 16–19.

91. **Згонник Н.П.** Влияние температуры и времени выдержки при обжиге на физико-механические свойства абразивно-керамических инструментов // НИИМАШ // Абразивы. М., 1963. Вып. 3. С. 15–20.

92. **Згонник Н.П.** Фриттирование связки для абразивного инструмента из карбида кремния / ЦИНТИАМ // Абразивы и алмазы. М., 1965. Вып. 1. С. 11–15.

93. Пат. 2837416 США. Абразивные изделия из карбида кремния на стеклосвязке. Опубл. 03.06.68.

94. Взаимодействие компонентов карбидокремниевой формовочной смеси при термообработке до 1250 °С / Н.К. Петров, В.И. Могилевский, Э.М. Медведовская, А.Л. Рашкован; НИИМАШ // Абразивы. М., 1983. № 8. С. 12–18.

95. **Федотова С.М., Петров И.П., Певзнер Р.Л.** Взаимодействие карбида кремния с расплавленными алюмоборосиликатными стеклами / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. Вып. 2. С. 4–8.

96. Лазерный эмиссионный микроанализатор / Н.В. Королев, Р.Л. Певзнер, И.П. Петров, В.В. Рюхин // Материалы II республиканской конференции по общей и прикладной физике. Алма-Ата: Наука, 1969. С. 20–25.

97. **Андрющенко Н.С., Самсонов Ю.Г.** Методика количественного микрорентгеноспектрального анализа многокомпонентных ферритов // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1971. № 6. С. 15–18.

98. Изучение модуля упругости абразивного инструмента из карбида кремния на различных керамических связках/ С.М. Федотова, Н.М. Каменцева, И.В. Шарина, Н.И. Чикановская // Труды ВНИИАШ. М., 1975. Основные закономерности процессов производства абразивных материалов и инструментов. С. 73–79.

99. **Федотова С.М.** Влияние борных стекол в составе связки на физико-механические свойства абразивного черепка из карбида кремния / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. Вып. 8. С. 1–4.

100. А. с. 416233 М Кл. В 24d 3/14. Керамическая связка / В.А. Смирнов, К.Г. Григорьева, Л.П. Салова, Л.Т. Захарова, С.М. Федотова. Опубл. 25.11.74. Бюл. № 7.

101. **Федотова С.М.** Влияние борнолитиевых стекол в составе связки на физико-механические свойства абразивного черепка из карбида кремния / НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. Вып. 9 (123). С. 11–17.

102. **Кайнарский И.С., Дегтярева Э.В.** Окисляемость карборундовых огнеупоров и методы ее снижения // Огнеупоры. 1960. № 2. С. 7–9.

103. **Каменцева Н.М., Федотова С.М., Щелачева Е.Г.** Изучение взаимодействия карбида кремния с ВаО-содержащими керамическими связками / НИИМАШ // Основные закономерности процессов производства абразивных материалов и инструментов: Труды ВНИИАШ. М., 1975. С. 79–84.

104. А. с. 481417 (51)М Кл.[2] В24d 3/14. Керамическая связка / С.М. Федотова, Н.М. Каменцева, И.В. Шарина, Н.И. Чикановская, В.А. Смирнов. Опубл. 25.08.75. Бюл. № 31.

105. **Каменцева Н.М., Федотова С.М.** Взаимодействие карбида кремния с керамическими связками, содержащими СаО / НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. № 3 (118). С. 1–4.

106. **Щелачева Е.Г., Федотова С.М., Ройтштейн Г.Ш.** Оптимизация состава керамических связок / НИИМАШ // Абразивы. М.:, 1974. № 10. С. 8–14.

107. А. с. 604668 (51) М Кл[2]. 2 В24D 3/14. Керамическая связка для абразивного инструмента / С.Г. Воронов, Н.Е. Филоненко, С.М. Федотова, Н.М. Каменцева. Опубл. 30.04.78. Бюл. № 16.

108. **Петров Н.К., Могиленский В.И., Щелачева Е.Г.** Оптимизация состава карбидкремниевых формовочных смесей абразивных изделий с повышенными прочностными характеристиками // Абразивы: Экспресс-информация. 1981. № 12. С. 1–5.

109. Влияние фосфатов для связывания изделий на основе карбида кремния // Pawelek Alieja. Zaprawy fosforanowe do laczenia wyrobow z weglika krzemu: Biul. Inform Inst. Mater. Ogniotz. 1977. T. 14. N 1–2. S. 23–24.

110. Изучение модуля упругости абразивного инструмента из карбида кремния на различных керамических связках / С.М. Федотова, Н.М. Каменцева, И.В. Шарина, Н.И. Шекановская // Труды ВНИИАШ. Л., 1975. С. 73–78.

111. Повышение качества абразивного инструмента из зеленого карбида кремния на керамической связке зернистостью № 50–16 / Н.А. Цеймах, С.М. Полонский, С.М. Федотова, В.Н. Смирнов; НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. № 7 (110). С. 8–12.

112. **Сиротин В.П., Козинцева Р.Г., Галишников Н.И.** Шлифовальные круги из карбида кремния на керамической связке с рабочей скоростью 45 м/с / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 11. С. 1–4.

113. **Пташников В.С., Федотова С.М., Шпотаковский Д.Ф.** Шлифование быстрорежущих сталей и титановых сплавов инструментом из карбида кремния на новых керамических связках / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. № 9. С. 18–24.

114. Обработка твердых сплавов шлифовальными кругами из смеси зеленого и черного карбида кремния / Г.И. Саютин, О.М. Яковлев, Р.Г. Козинцева, Э.Э. Радченко; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1982. № 8. С. 6–9.

115. **Любомудров В.Н.** К вопросу применения легкоплавких связок для электрокорундовых изделий // Доклады АН СССР. М., 1949. Т. LXVIII, № 4. С. 741–743.

116. **Згоник Н.П.** К вопросу о структуре связки абразивных корундовых изделий // Доклады АН СССР. М., 1948. Т. LXI, № 1. С. 95–98.

117. **Эфрос М.Г., Згоиник Н.П., Миронюк В.С.** Некоторые технологические особенности производства абразивного инструмента на однокомпонентной связке / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1967. № 4. С. 22–25.

118. **Згоиник Н.П., Эфрос М.Г., Миронюк В.С.** Перлит и обсидиан как связки в абразивном инструменте / НИИМАШ // Абразивы. М., 1967. № 5. С. 19–23.

119. Использование дегидратированного перлита в качестве связки абразивного инструмента / Б.А. Брянцев, Н.В. Куценко, М.Г. Эфрос, В.А. Миронюк // Химия и технология силикатных материалов. Л.: Наука, 1971. С. 62.

120. **Цеймах И.А., Перельман С.М., Лещук А.Е.** Абразивные круги на связке, содержащей перлит / НИИМАШ // Абразивы. М., 1968. Вып. 4. С. 26–30.

121. **Федотова С.М., Каменцева Н.М., Мишина Л.И.** Свойства абразивного черепка из карбида кремния на керамической связке на основе полевошпатового сырья / НИИМАШ // Абразивы. М., 1975. Вып. 5. С. 20–27.

122. Использование вулканических стекловидных пород в керамических борсодержащих связках для инструмента из карбида кремния / В.А. Смирнов, В.П. Манунин, Л.Н. Багайсков, А.В. Лежнева; НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. Вып. 11. С. 5–7.

123. **Федотова С.М., Курнукин В.А., Волович Л.А.** Исследование полевошпатового сырья и огнеупорных глин новых месторождений в качестве компонентов керамических связок для электрокорунда нормального / НИИМАШ // Абразивы. М., 1978. № 3. С. 8–11.

124. Пат. Англии 00.02–14А. 456. Шлифовальные круги // Tooland Prod. 1999. Vol. 65. N 6. С. 71.

125. Испытания вибромельницы с воздушным сепаратором / А.М. Репин, И.В. Харченко, В.Б. Магазинер и др.; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 9. С. 11–13.

126. **Равикович В.В., Федотова С.М.** Определение намола металла при вибрационном измельчении полевого шпата / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 2. С. 9–13.

127. Пат. RU 2131804 (13) С16. В24D 3/14. Способ изготовления керамической связки для абразивного инструмента / А.К. Воздиган, Г.М. Иманов, М.Г. Корень, Н.В. Кучук, А.В. Майорова, С.М. Федотова, А.С. Харин, Т.Б. Харитонова. Опубл. 20.06.99. Бюл. № 17.

128. **Роговой М.И.** Теплотехническое оборудование керамических заводов. М.: Стройиздат. 1983. С. 116–123.

129. **Сычев М.М.** Неорганические клеи. М.: Химия, 1974. 155 с.

130. **Августиник А.И.** Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. С. 16–40.

131. **Везер ван.** Фосфор и его соединения. М.: Химия, 1964. С. 87–100.

132. **Дудеров Ю.Г., Мельников М.М.** Огнеупорные вяжущие на основе алюмохромофосфатной связки // Огнеупоры. 1980. № 1. С. 52–53.

133. **Лясс С.С.** Быстротвердеющие формовочные смеси. М., 1965. 332 с.

134. **Конатилов В.И., Кулыжская Н.Ф.** Критическое количество декстрина в керамической абразивной массе / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. № 1. С. 13.

135. А. с. SU 1288041 А1 51(4) В24D 3/14. Абразивная масса / П.Г. Толчинский, В.Ф. Редько, Ш.К. Камалов, Л.В. Придорогина, В.И. Могиленский, С.М. Федотова, М.Г. Эфрос. Заявл. 12.07.84; Опубл. 07.02.87. Бюл. № 5.

136. Арабиногалактан в качестве заполнителя декстрина / А.Н. Лукницкий, С.Г. Воронов, Н.А. Кочергина и др.; НИИМАШ // Абразивы. М., 1975. № 3 (129). С. 9–12.

137. **Крыльников Ю.В., Эфрос М.Г.** Повышение механической прочности сырца шлифовальных кругов/ НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1983. Вып. 2. С. 4–6.

138. **Крыльников Ю.В., Эфрос М.Г., Ефремов Л.К.** Исследование механической прочности заготовок после сушки / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1980. Вып. 10. С. 4–5.

139. А. с. SU 1459909A1 51 (4) B24D 3/14/c/09 к 3/14. Формовочная смесь для изготовления абразивного инструмента / Э.А. Александрова, С.М. Федотова, А.Н. Переверзев, А.П. Гришин, Ю.Ю. Лобачев, Т.П. Фадеева, А.Н. Свекольникова, И.Е. Михаилов, И.В. Шарина, Т.Н. Малкова, Г.Г. Тимощева. Опубл. 23.02.89. Бюл. № 7.

140. А. с. SU 1472232 A1 (51) 4 B24D 3/14. Формовочная масса для изготовления абразивного инструмента / Э.Н. Александрова, А.Н. Переверзев, А.П. Гришин, Ю.Ю. Лобачев, М.А. Гусев, А.С. Свекольникова, Т.П. Фадеева, С.М. Федотова, Н.И. Гришанова, М.Г. Эфрос, Э.Я. Довгаль, В.С. Миронюк, А.А. Куров. Опубл. 15.04.89. Бюл. № 14.

141. А.с. 606719 (51) М Кл^2 B24D 3/14. Масса для изготовления абразивного инструмента / В.Ф. Казанская, В.О. Виноградский, А.Н. Устькачкинцев, С.М. Федотова, Н.К. Петров, М.Г. Эфрос, Н.Д. Корчагина. Опубл. 20.04.79. Бюл. № 18.

142. Пат. 3619151 B24d 3/02 51–307. США. Шлифовальный круг, скрепленный фосфатом // Zandis Tod Company. 1971.

143. **Kingery W.D.** Fundamental study, of Phoshate bonding in refractoryes // Journal Amer. ceram. SOS. 1950. Vol. 8, N 3.

144. **Будников П.П., Хорошавин Л.Б.** Огнеупорные бетоны на фосфатных связках. М.: Металлургия, 1971.

145. **Петров Н.К., Могиленский В.И.** Повышение прочности свежезаформованных абразивных изделий из зеленого карбида кремния на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. Вып. 5. С. 10–14.

146. А. с. SU 1088920 3 (51)D 3/14. Абразивная масса / В.И. Могиленский, Н.К. Петров, С.М. Федотова, М.Г. Эфрос, И.Л. Рашкован, С.М. Полонский, Л.А. Волович, Г.И. Журавлев, В.И. Копатилов, Т.М. Коноплева. Опубл. 30.04.84. Бюл. № 16.

147. А. с. 967787 (51) М Кл^3. B24D 3/14. Керамическая связка для абразивного инструмента / Н.К. Петров, В.И. Могиленский, В.Н. Мартынов, В.В. Тищенко, Ю.М. Немов, М.А. Воскобойников, А.А. Куров. Опубл. 23.10.82. Бюл. № 39.

148. **Смирнова М.П., Карпова Е.И.** Упрочнение абразивного сырца способом продува углекислым газом / НИИМАШ // Абразивы. М., 1967. Вып. 6. С. 9–15.

149. **Крыльников Ю.В., Эфрос М.Г.** Устройство для упрочнения сырца шлифовальных кругов на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1982. Вып. 11. С. 8–10.

150. А. с. SU 1341010A1 (51)4 B24D 19/00. Способ изготовления абразивного инструмента / А.А. Куров, В.И. Могиленский, Т.Н. Малкова, С.М. Федотова, М.Г. Эфрос, Э.Я. Довгаль, Ю.В. Иваницкий. Опубл. 30.09.87. Бюл. № 36.

151. Опыт освоения акустического контроля абразивного инструмента на керамической связке / И.Б. Московенко, С.М. Федотова, Р.Н. Глебова и др. НИИМАШ // Абразивы. М., 1983. № 11. С. 15–18.

152. **Московенко И.Б., Славина Л.Я., Федотова С.М.** Опыт освоения акустического метода контроля твердости абразивных инструментов на заводах-изготовителях // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2005: Междунар. науч.-техн. конф. Волгоград; Волжский, 2005. С. 205–208.

153. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программное обеспечение. Введение в планирование эксперимента. М.: Наука, 1971.

154. **Капотилов В.И.** Определение предела движения по линии крутого восхождения к оптимуму при опытах флотации // Обогащение руд. 1969. Вып. 4. С. 12–16.

155. Новые идеи в планировании эксперимента. М.: Наука, 1969.

156. **Капотилов В.И., Федотова С.М.** Применение факторного планирования при определении рационального состава керамической связки и расчета рецептуры формовочных абразивных масс / НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. Вып. 1 (116). С. 1–5.

157. **Щелачева Е.Г., Федотова С.М., Ройтштейн Г.Ш.** Факторное планирование эксперимента при расчете рецептуры формовочных масс / НИИМАШ // Абразивы. М., 1975. Вып. 1 (127). С. 13–16.

158. Методика составления рецептов абразивного инструмента на керамической связке / В.И. Могиленский, Е.Г. Щелачева, М.Г. Эфрос и др.; НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. Вып. 12. С. 3–5.

159. Оборудование и оснастка предприятий абразивной и алмазной промышленности / В.А. Рыбаков, А.И. Мезенцев, И.И. Тупикин и др. Л.: Машиностроение, 1981. 271 с.

160. **Губин И.П., Гуревич А.С.** Дозаторы для жидких материалов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1969. Вып. 3. С. 37.

161. **Гуревич А.С.** Исследование смесительных машин и разработка гаммы машин для приготовления абразивных масс / НИИМАШ // Алмазы. М., 1974. Вып. 6. С. 24–31.

162. **Гуревич А.С., Маркушевич В.А.** Исследование работы смесительной машины АПАМ-300 / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 7. С. 22–26.

163. **Лапчевский Н.В., Савельчиков Л.П., Файнберг М.Д.** Универсальная смесительная машина СМ-400У / НИИМАШ // Абразивы. М., 1975. Вып. 11. С. 18–21.

164. **Файнберг М.Д., Лапчевский Н.В., Савельчиков Л.П.** Автоматизация оборудования для приготовления абразивных масс / НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. С. 16–21.

165. А. с. № 579151. Смеситель / К.И. Егер и др. Опубл. 06.08.76. Бюл. № 21; А. с. 516532. Смеситель / Егер К.И. и др. Опубл. 04.02.77. Бюл. № 14.

166. **Васариньш А.Я., Лидумс А.К., Коваленко М.М.** Высокоэффективный смесительный агрегат для формовочных смесей / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. Вып. 7. С. 7–8.

167. **Воронов С.Г., Юликова Ю.Ф.** К вопросу о дозировании и укладке абразивных смесей в пресс-формы с помощью сжатого воздуха / НИИМАШ // Абразивы. М., 1961. Вып. 28–29.

168. **Юликова Ю.Ф., Нигматуллин В.А., Масевич О.С.** Применение пескострельных машин для дозировки и укладки крупнозернистых абразивных масс в пресс-формы / НИИМАШ // Абразивы. М., 1968. Вып. 3. С. 19–24.

169. А. с. 64953 (51) М Кл^3 В 2813/02. Устройство для укладки абразивной массы в пресс-форму ДУМ-В-ММ / Н.Ф. Волынин. 1978. Бюл. № 26.

170. А. с. 768647 (51) М Кл^3 В 28В13/02 Устройство для укладки абразивной массы в пресс-форму / Н.Ф. Волынин. Опубл. 07.10.80. Бюл. № 37.

171. Керамика для машиностроения / А.П. Гаршин, В.М. Гропянов, Г.И. Зайцев, С.С. Семенов. М.: Научтехлитиздат, 2003. С. 111–114.

172. **Шиндарев Г.В., Музылев Б.Г.** Подпрессовка высоких абразивных изделий на Московском абразивном заводе / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 10. С. 28–29.

173. **Криворотов В.В.** Приспособление для подпрессовки абразивных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 8. С. 25–26.

174. А. с. 184168, зависимое от а. с. 99349. Эластичная плита / С.Г. Воронов, В.А. Яшин. Заявл. 26.03.65.

175. **Губин И.П., Гуревич А.С., Маркушевич В.А.** Роторные прессы для формования шлифовальных кругов диаметром 8–150 мм / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 2. С. 29–33.

176. **Маркушевич В.А., Нигматуллин В.А.** Агрегат ФА315-350М для формования мелкозернистых кругов диаметром 250–350 мм / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 4. С. 24–25.

177. **Чулович А.Б., Давыдов О.А.** Внедрение формовочного агрегата АФА-9 на Волжском абразивном заводе / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 11. С. 30–31.

178. **Файнберг М.Д., Юликова Ю.Ф.** Анализ и выбор схем механизации формовочных агрегатов для изготовления абразивного инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1977. Вып. 9. С. 5–9.

179. **Ширяев Ю.С., Карманов П.А.** Модернизация пресс-инструмента для формования заготовок шлифкругов методом задува / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1991. Вып. 11. С. 16–18.

180. **Воронов С.Г., Юликова Ю.Ф.** Дозировка и укладка крупнозернистых абразивных масс в пресс-формы пескострельным способом / НИИМАШ // Абразивы. М., 1964. Вып. 2. С. 11–14.

181. Современные литейные машины отечественного производства / ЦИНТИ. М., 1963.

182. **Нигматуллин В.А., Савельчиков М.Г.** Опыт проектирования пресс-форм для формования заготовок абразивных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1977. Вып. 3. С. 6.

183. **Глухов В.П.** Повышение износостойкости оправок пресс-форм для формования абразивного инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 6. С. 3–11.

184. **Эфрос М.Г.** Совмещенные сушка и обжиг абразивно-керамических изделий / НИИМАШ // Абразивы. М., 1966. Вып. 1. С. 17–23.

185. **Роговой М.И.** Теплотехническое оборудование керамических заводов. М.: Стройиздат, 1983. 364 с.

186. **Порада А.И., Федорченко А.И., Масягин В.И.** Сушило четырехкамерное проходное с автоматическим управлением / НИИМАШ // Абразивы. М., 1978. Вып. 1. С. 11–12.

187. **Воано В.Г.** Теоретические основы расчета допустимых скоростей измерения температуры при обжиге абразивных кругов / ЦБТИ // Абразивы. М., 1953. № 7. С. 10–15.

188. **Плят Ш.Н.** Распределение температуры в абразивных изделиях в процессе термической обработки (обжига) // Инженерно-физический журнал. 1960. № 7. С. 10–16.

189. **Плят Ш.Н.** Распределение температурных напряжений в абразивных изделиях в процессе термической обработки (обжига) // Инженерно-физический журнал. 1960. № 10. С. 8–15.

190. **Згонник Н.П., Баранков О.И.** Предельно допустимые скорости нагрева, охлаждения и время выдержки абразивного инструмента при термической обработке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 1. С. 5–10.

191. **Згонник Н.П., Страродубова Г.Н.** Методика расчета предельных скоростей изменения температуры при обжиге абразивных кругов // Труды ВНИИАШ. № 2. М.: Машиностроение, 1966. С. 55–65.

192. **Лыков А.В., Михайлов Ю.А.** Теория тепло- и массопереноса. М.: Госэнергоиздат. 1963.

193. **Згонник Н.П., Плят Ш.Н.** Теплопроводность корундовых изделий // Огнеупоры. 1953. № 6. С. 8–14.

194. **Плят Ш.Н.** Исследование теплопроводности абразивно-керамических изделий // Абразивы. ЦБТИ ЭНИМС 1958. Вып. 20. С. 13–54.

195. **Згонник Н.П., Плят Ш.Н.** Метод определения коэффициента теплоотдачи в туннельных печах абразивной промышленности // Абразивы. 1960. Вып. 26.

196. **Згонник Н.П.** Исследование коэффициента линейного расширения и усадки абразивно-керамических черепков // Абразивы. 1960. № 27. С. 20–29.

197. **Згонник Н.П.** Упруго-пластические свойства абразивно-керамических изделии / ЦИНТИАМ // Абразивы. М., 1963. № 4. С. 30–36.

198. **Згонник Н.П.** Предел прочности на изгиб карбидкремниевых огнеупорных плит и абразивно-керамических черепков при температуре до 1300 °С / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1964. № 1. С. 12–16.

199. **Згонник Н.П., Стародубова Г.Н.** Влияние состава газовой среды при обжиге на физико-механические свойства черепка и шлифующие свойства корундового абразивного инструмента / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1966. Вып. 6. С. 18–28.

200. **Згонник Н.П., Стародубова Г.Н.** Газопроницаемость свежезаформованных и высушенных изделий / НИИМАШ // Абразивы. М., 1968. Вып. 5. С. 17–20.

201. **Згонник Н.П., Плят Ш.Н.** Теплопроводность корундовых изделий // Огнеупоры. 1953. № 6. С. 215.

202. **Згонник Н.П.** О связи теплопроводности и твердости абразивного инструмента из электрокорунда на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1965. № 4. С. 12–18.

203. **Згонник Н.П., Стародубова Г.Н.** Исследование кинетики теплофизических свойств мелкозернистых масс при обжиге // Труды ВНИИАШ. № 8. Л., 1968. С. 40–55.

204. **Згонник Н.П.** Исследование коэффициента линейного расширения и усадки абразивно-керамических черепков / ЦБТИ // Абразивы. М., 1960. Вып. 7. С. 35–37.

205. **Згонник Н.П.** Упруго-пластические свойства абразивно-керамических изделий / ЦБТИ // Абразивы. М., 1963. Вып. 4. С. 30–36.

206. **Згонник Н.П. и др.** Исследование газопроницаемости абразивных инструментов / ЦБТИ // Абразивы. М., 1956. Вып. 17. С. 44–48.

207. **Згонник Н.П.** О типизации туннельных печей для обжига абразивных инструментов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. № 5 (37).

208. **Згонник Н.П.** О выборе типа печи для термической обработки абразивного инструмента / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1967. № 1.

209. Совершенствование конструкции туннельных печей при обжиге абразивного инструмента / В.И. Масягин, С.М. Полонский, А.И. Федорченко и др.; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 6. С. 13–16.

210. **Мезенцев А.И.** Плоские перекрытия в туннельных печах / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1964. Вып. 5/4.

211. **Гринштейн М.М.** Некоторые результаты исследования туннельной печи абразивной промышленности как объекта автоматического регулирования // Труды ВНИИАШ. № 5. 1967. С. 72–77.

212. **Эфрос М.Г.** Совмещенная сушка и обжиг абразивно-керамических изделий / НИИМАШ // Абразивы. М., 1966. № 1. С. 17–23.

213. **Эфрос М.Г., Згонник Н.П.** Поточно-механизированные линии по производству абразивного инструмента на заводе "Ильич" / НИИМАШ // Абразивы. М., 1978. № 7. С. 4–6.

214. **Эфрос М.Г., Мезенцев А.И., Карпов В.М.** Туннельная печь с одноярусной садкой и совмещенной сушкой и обжигом шлифовальных кругов // Абразивы. 1981. № 1. С. 4–6.

215. Анализ работы термического агрегата поточно-механизированной линии для производства шлифовальных кругов диаметром 600 мм / Ю.В. Крыльников, М.Г. Эфрос, В.П. Иванов и др.; НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 2. С. 7–10.

216. **Крыльников Ю.В., Эфрос М.Г., Ефремов Л.К.** Шестикамерная газовая печь поточно-механизированной линии производства шлифовальных кругов диаметром 100–200 мм / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 10. С. 13–15.

217. **Мезенцев А.И., Григоренко Е.И., Борохвостов В.П.** Трехканальные электропечи для обжига абразивных изделий / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1981. № 8. С. 1–3.

218. **Радченко А.А., Мезенцев А.И., Крыльников Ю.В.** Новые конструкции многоканальных газовых печей / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1983. № 3. С. 5–10.

219. **Крыльников Ю.В., Эфрос М.Г.** Устройство для упрочнения сырца шлифовальных кругов на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1982. Вып. 11. С. 8–10.

220. **Кудасов Г.Ф.** Механическая обработка шлифовальных кругов на плоскообдирочных станках / ЦБТИ ЭНИМС // Абразивы. М., 1952. Вып. 4. С. 34–39.

221. **Захаров В.П.** Совершенствование технологии механической обработки шлифовальных кругов на керамической связке для обеспечения класса точности АА // Труды ВНИИАШ. Л., 1988. С. 77–84.

222. Сборный алмазный инструмент для обработки шлифовальных кругов / В.П. Захаров, В.М. Григорьев, В.А. Салтыков, А.И. Костюнин // Сверхтвердые материалы. М., 1987. № 2. С. 64–66.

223. **Ахундзянов Х.А., Друй М.С., Овсеевич Р.С.** Обработка плоскостей шлифовальных кругов алмазным инструментом / НИИМАШ // Абразивы. М., 1968. Вып. 4. С. 31–33.

224. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / В.Н. Бакуль, Ю.И. Никитин, Е.Б. Верник, В.Ф. Селех. М.: Машиностроение, 1975. 296 с.

225. **Матанский Г.К., Лебедев А.П., Захаров В.П.** Алмазная обработка отверстии шлифовальных кругов на станке модели СВШИ / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. Вып. 10. С. 8–10.

226. **Захаров В.П., Безруков Ю.Н.** Способ уменьшения смещения оси посадочного отверстия при обработке шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1981. Вып. 11. С. 5–7.

227. **Ивашинников В.Т., Белухин Б.Н.** Повышение точности отверстий шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. Вып. 2. С. 9–11.

228. **Захаров В.П., Найденков А.А., Васильев И.В.** Совмещенная обработка посадочного отверстия и наружной поверхности шлифовальных кругов. Режущие инструменты, абразивы / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1984. Вып. 3. С. 3–7.

229. **Попов Н.Т., Туникин И.И., Сычева Т.А.** Машина ВН-80 для обдувки шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. Вып. 6. С. 16–17.

230. **Згонник Н.П.** Образование трещин в процессе термической обработки абразивных изделий / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1964. Вып. 3 (41). С. 37–38.

231. **Кудасов Г.Ф.** Методика производственных испытаний шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1965. Вып. 6 (50). С. 31–36.

232. **Надель В.Е., Васильев И.В., Герман М.Я.** Метод контроля непараллельности торцов шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1977. Вып. 4 (154). С. 7–9.

233. **Захаров В.П., Лесной Б.В., Надель В.Е.** Некоторые вопросы контроля геометрических параметров шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 8. С. 13–18.

234. Производство абразивных материалов и инструментов в СССР и за рубежом: Техн.-экон. обзор / В.В. Карлин, О.С. Кузнецова, В.А. Рыбаков, С.М. Федотова; НИИМАШ. М., 1974. 74 с.

235. Физико-химические методы анализа и исследования химического состава абразивного инструмента на керамической связке / И.Я. Ривлин, А.И. Хазанова, Б.М. Столярова, И.В. Лавров; ВНИИАШ. Л., 1981. 48 с.

236. **Мишина Л.И., Зарецкая Г.М.** Методические рекомендации по исследованию электрокорундового абразивного инструмента на керамической связке / НИИМАШ. М., 1981. 24 с.

237. **Пыльнев А.А., Новикова Е.Г., Заклицкая А.И.** О реакционной способности керамической связки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1968. № 2. С. 21–24.

238. **Филоненко Н.Е.** О влиянии реакционной способности и структуры связки на механические свойства корундового керамического черепка // Доклады АН СССР. М., 1948. Т. LXI. № 5.

239. **Ривлин И.Я., Юликова Ю.Ф., Тотеман Б.А.** Выбор метода оценки реакционной способности керамических связок к шлифзерну электрокорунда белого / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 9. С. 3–5.

240. **Горюнов Ю.В., Сумм Б.Д.** Смачивание. М.: Знание, 1972. 61 с.

241. **Высочная Н.К., Аппен А.А.** Смачивание железа силикатными расплавами // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. Нальчик, 1965.

242. **Найдич Ю.В.** О методике измерения поверхностного натяжения по форме растекшихся капель: Инф. письмо № 144 / АН УССР. Киев. 1958. 5 с.

243. Метод изготовления шлифов из материалов высокой твердости / М.С. Друй, Г.М. Зарецкая, М.Ф. Мальяненкова, Л.И. Положенцева; НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1966. Вып. 6. С. 6–9.

244. **Федотова С.М., Мишина Л.И.** Методика определения смачивания керамическими связками абразивных материалов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1969. № 2. С. 16–18.

245. **Аппен А.А.** Высокотемпературные покрытия // Труды семинара по жаростойким покрытиям. М.: Наука, 1967.

246. **Федотова С.М., Мишина Л.И.** Смачивание поверхности абразивных материалов силикатными расплавами // Смачиваемость и поверхностные свойства расплавов и твердых тел. Киев: Наукова думка, 1972. С. 184–186.

247. **Пыльнев А.А., Угликова Н.С., Никиташ А.К.** Смачиваемость электрокорундов промышленными керамическими связками / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. Вып. 3. С. 6–11.

248. **Лавров И.В., Шишко О.С., Жданов А.Д.** Угол естественного откоса шлифзерна и шлифпорошков абразивных материалов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 8. С. 8–9.

249. **Куров А.А., Могиленский В.И., Петров Н.К.** Определение осыпаемости образцов изделий на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1984. № 2. С. 3–6.

250. **Куров А.А.** К вопросу определения прочности свежезаформованных образцов абразивных инструментов // Инструменты для высокоэффективного шлифования: Труды ВНИИАШ. Л., 1982. С. 35–41.

251. Литейные машины: Кат. Группа 10. Лабораторные приборы. Подгруппа 1, лист 10.1.09. Усманский завод литейного оборудования / НИИМАШ. М., 1978.

252. **Зильберман Р.М.** К методике изготовления абразивных образцов на пульвербакелите для определения их предела прочности при растяжении / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1965. Вып. 5. С. 19–22.

253. **Пицына Л.Г., Мурдасов А.В., Ивашинников В.Г.** Изучение поверхности разрыва абразивного черепка на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 8. С. 15–17.

254. **Положенцева Л.И.** Метод изготовления прозрачных шлифов из карбида кремния / НИИМАШ // Абразивы. М., 1964. Вып. 3(41). С. 1–2.

255. Исследование свойств керамических связок в системе каолин – полевой шпат – кварц методом статического планирования экспериментов / Н.С. Угликова, А.А. Пыльнев, Е.Г. Новикова, А.К. Никиташ; НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. Вып. 5. С. 7–11.

256. **Филимонов Л.Н.** Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, 1979. 242 с.

257. Высокоскоростное шлифование: Метод. рекомендации / М.Г. Гессель, И.Т. Давыдов, В.Н. Дугин и др.; НИИМАШ. М., 1978. 54 с.

258. **Караченцева Т.Г., Пилинский В.И., Юликова Ю.Ф.** Расчет напряжении в скоростных составных шлифовальных кругах / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. Вып. 11. С. 6–9.

259. **Караченцева Т.Г., Юликова Ю.Ф., Зайцев Г.П.** Методика проектирования, изготовление и испытание высокоскоростных абразивных инструментов // Труды ВНИИАШ. Вып. 6. Л., 1982. С. 7–21.

260. **Караченцева Т.Г.** Способ оценки прочности проектируемых кругов с упрочняющей втулкой / НИИМАШ // Абразивы. М., 1982. Вып. 5. С. 12–15.

261. **Караченцева Т.Г., Пилинский В.И., Юликова Ю.Ф.** Выбор рациональной конструкции скоростных составных шлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. Вып. 12. С. 1–3.

262. **Говорухин В.А.** Расчет на прочность составных шлифовальных кругов. Томск: Изд-во Том. политехн. ин-та, 1976. 263 с.

263. **Баранов О.И., Згонник Н.П.** Расчет напряжений в тонком шлифовальном круге, усиленном торцевыми дисками / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 5. С. 12–14.

264. **Говорухин В.А., Шеркунов Б.Ф.** Расчет прочности высокоскоростных шлифовальных кругов, армированных втулкой / НИИМАШ // Абразивы. М., 1975. Вып. 9. С. 10–14.

265. А. с. (11)1002140 (51)М Кл^3 B24D 5/04. Состав для изготовления упрочняющей части абразивного круга / Ю.Ф. Юликова, Г.П. Зайцев, Т.Г. Караченцева, Л.П. Лупинович, В.А. Лапицкий, Л.В. Петрова, В.Е. Токарева, Л.И. Альшиц. Заявл. 08.05.80.

266. **Юликова Ю.Ф., Караченцева Т.Г., Прозорова З.М.** Изготовление скоростных шлифовальных кругов из хромистого электрокорунда на керамической связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1982. № 6. С. 14–17.

267. А. с. 614953. Устройство для укладки абразивной массы в форму / Н.Ф. Волынин. Опубл. 03.03.78. Бюл. № 11.

268. А. с. SU 1270028 A1. Формовочная плита для изготовления абразивных инструментов / Ю.Ф. Юликова, С.М. Федотова, Л.Д. Володина, В.П. Филиппов, М.Я. Ленбович. Опубл. 15.11.86. Бюл. № 42.

269. Пат. SU 1710323 A1 кл. B24D 3/00. Формовочная смесь для изготовления абразивного инструмента / З.М. Прозорова, М.Г. Эфрос, С.М. Федотова, В.С. Буров, В.М. Коломазин, Г.И. Лемеш. Опубл. 07.02.92. Бюл. № 5.

270. **Эфрос М.Г., Прозорова З.М., Зинченко В.П.** Керамическая связка для изготовления скоростного абразивного инструмента из электрокорундовых материалов. Современные виды абразивного инструмента / ВНИИТЭРМ. М., 1991.

271. Абразивные инструменты для скоростного шлифования и области их применения / Ю.Ф. Юликова, С.М. Федотова, М.Г. Гессель, Г.И. Волков; НИИМАШ. М., 1982. 32 с.

272. **Кремень З.И., Зайцева М.А., Федотова С.М.** Высокоскоростное шлифование // Специальные абразивные инструменты. Л.: Машиностроение, 1986. С. 14–24.

273. **Кремень З.И., Дугин В.Н., Карпова Е.М.** Высокоскоростное круглое шлифование желобов колец подшипников / НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. № 5. С. 1–6.

274. Семинар по скоростному шлифованию / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. № 1. С. 21–24.

275. Патенты Японии:

48-34277 кл. 74K021 B 24d3/00. Способ изготовления пористых шлифовальных кругов. Заявл. 11.03.70; Опубл. 19.10.73.

49-33077 кл. 74K021 B24d3/00. Способ изготовления шлифовальных кругов. Заявл. 25.02.69; Опубл. 04.09.74.

32913 кл. 74K021 22 B24b. Способ изготовления пористых абразивных кругов. Заявл. 11.12.68; Опубл. 27.09.71.

57-21280 B24D3/00. Шлифовальный круг с полыми стеклянными или графитовыми шариками в качестве порообразователя. Опубл. 10.11.82.

59-187468 B24D3/28. Абразивный круг с применением пробки в качестве порообразователя. Опубл. 24.10.84.

49-3077 кл. 74 K0021 B24d3/00. Древесная стружка. Заявл. 25.02.69; Опубл. 04.09.74.
276. Пат. ФРГ:
686017 кл. 67С. Метод изготовления пористых шлифовальных кругов на керамической связке. Опубл. 05.08.75.
277. Заявки ФРГ:
2530835 кл. B24D5/16. Пористые шлифовальные круги без центрального отверстия. Заявл. 10.07.75; Опубл. 13.01.77.
2656039 кл. B24D3/02, B24D3/18. Способ изготовления высокопористого шлифовального инструмента. Заявл. 10.12.76; Опубл. 15.06.78.
278. Патенты Великобритании:
1545896 C04 B21/02 C1A. Способ получения ячеистых и вспученных материалов. Опубл. 16.05.79.
2102455 B24D3/00. Абразивный материал, состоящий из смеси полых частиц, абразивных зерен и связки. Опубл. 02.02.83.
279. Заявка 1399927 кл. CIJC04B (Великобритания): Легкие керамические изделия. Опубл. 25.06.75.
280. Патенты США:
4086067. Пористые спеченные абразивы и способ изготовления. Опубл. 25.04.78.
4575383 B24D3/02. Шлифовальный круг с применением органического порообразователя. Опубл. 11.03.86.
281. А. с. 933428 51МКл³. B24D3/34. Абразивная масса для изготовления пористого инструмента на керамической связке / Э.Я. Довгаль, В.И. Капотилов, И.В. Шарина (СССР). Опубл. 07.06.82. Бюл. № 21.
282. А. с. 1127752 B24D3/14. Масса для изготовления пористого абразивного инструмента на керамической связке / В.Н. Баев, Ю.А. Николаев, В.В. Стебихов (СССР). Опубл. 07.12.84.
283. А. с. 1073082 B24D3/14. Шлифовальный круг высокопористый абразивный на керамической связке / Третьяков И.П., Тимофеев В.Н., Кудряшев Б.П., Ивашинников В.Т. (СССР). Опубл. 15.02.84.
284. А. с. 933428 (51) М Кл² B24D3/34. Абразивная масса для изготовления пористого инструмента / Э.Я. Довгаль, В.И. Копатилов, И.В. Шарина и др. (СССР). Опубл. 07.06.82. Бюл. № 21.
285. А. с. 991166 59/02. Масса для изготовления абразивного инструмента. Заявл. 28.07.99; Опубл. 20.03.01. Бюл. № 8.
286. А. с. 9918846/02 7B24D3/20 / Е.П. Пастухов. Опубл. 2001. Бюл. № 16.
287. А. с. 2169067 7B24D3/20. Способ изготовления абразивного изделия / ЗАО Центральная компания финансово-промышленная группа "КОМТЕХ". Заявл. 01.06.96; Опубл. 20.06.01. Бюл. № 17.
288. **Гудман М.Я.** Высокотемпературная пористая керамика. М.: Металлургия, 1971.
289. **Полубояринов В.Ф., Гудман М.Я.** Высокоогнеупорные материалы. М.: Металлургия, 1964. С. 40–53.
290. **Казанская В.Ф., Федотова С.М., Гурчева З.Г.** Использование полистирола для изготовления абразивов с регулируемой пористостью // Химия. Пластические массы. 1979. № 7. С. 5–9.
291. А. с. 5666724 (51) Кл² B24D3/34. Абразивная масса для изготовления пористого инструмента / С.М. Федотова, Н.И. Гришанова, С.Г. Воронов, М.Г. Эфрос, В.Ф. Казанская, Г.А. Носаев, Г.Л. Безбородко (СССР). Заявл. 27.02.76; Опубл. 22.08.77. Опубл. 1977.
292. **Жуков А.В. и др.** Материалы и изделия на основе вспученного перлита. М.: Изд-во лит. по строительству, 1972. 156 с.
293. А. с. 603574 (51) М Кл² B24D3/18. Абразивная масса / Н.П. Згонник, С.М. Федотова, М.Г. Эфрос, Ю.П. Приймак, И.В. Шарина (СССР). Заявл. 11.05.76; Опубл. 04.04.78. Бюл. № 15.

294. Пат. SU № 1689355 А1 от 18.08.93. Масса для изготовления абразивных кругов / С.М. Федотова, Н.И. Гришанова, М.Г. Эфрос, В.Н. Мартынов, Э.Я. Довгаль, В.С. Лысанов, И.В. Ломакина, Л.В. Леонидов, М.А. Воскобойников, Л.И. Мишина.

295. А. с. 2164203 7В24D3/00, 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента / Комбинат "Электрохимприбор". Заявл. 28.07.99; Опубл. 20.03.01. Бюл. № 8.

296. **Горшков Ю.Б., Курдюков В.П., Эсмантович С.М.** Шлифование сендастовых сплавов высокопористыми абразивными кругами // Intergring-91: VIII Междунар. конф. по шлифованию, абразивным инструментам и материалам. Л., 1991. Ч. II. С. 191–193.

297. Физико-механические и эксплуатационные свойства высокопористых кругов для заточки лезвийного инструмента / Ю.С. Богайсков, В.А. Носенко, А.В. Лежнева, Л.В. Придорогина // Intergrind-91: VIII Междунар. конф. по шлифованию, абразивным инструментам и материалам. Л., 1991. Ч. 1. С. 82–86.

298. **Федотова С.М., Казанская В.Ф., Гуричева З.Г.** Высокопористый абразивный инструмент на керамической связке с применением различных порообразующих наполнителей / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 12. С. 5–8.

299. Абразивные круги фирмы Tyrolit // Typical Fully-documented results from customers Nach and Porod. Eng. 2000. N 4007. P. 59.

300. Высокопористый абразивный инструмент на керамической связке и области его применения / С.М. Федотова, Н.И. Гришанова, Ю.П. Приймак, М.А. Воскобойников: Современные виды абразивных инструментов: Труды ВНИИАШ. Л., 1991. С. 23–32.

301. **Попов С.А., Ананьян Ф.В.** Эксплуатационные свойства высокопористых абразивных кругов // Станки и инструмент. 1977. № 3. С. 22–32.

302. **Deutschmann K.** Применение пористых шлифовальных кругов // Metallverarbeitung. 1977. Bd. 31. № 4. С. 110–111.

303. **Елисеев Ю.С., Феоктистов А.Б.** Зубошлифование высокопористыми кругами // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-1999: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский. 1999. С. 23–24.

304. **Полканов Е.Г., Старков В.К.** Шлифование резьбы высокопористыми абразивными кругами // Технология машиностроения. 2002. № 6. С. 17–19.

305. **Кравченко Ю.Г.** Работоспособность высокопористых абразивных кругов при заточке быстрорежущего инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1977. № 12. С. 1–3.

306. О новой концепции создания отечественных высокопористых кругов для глубинного шлифования лопаток ГТД / В.Ф. Макаров, В.П. Кирчанов, В.В. Семиколенных, А.Н. Попов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2000: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2000. С. 79–81.

307. Выбор оптимальных характеристик высокопористых кругов для глубинного шлифования / В.Ф. Макаров, В.П. Кирчанов, В.В. Семиколенных, А.Н. Попов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-1998: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский. 1998. С. 27–30.

308. **Старков В.Ю., Рябцев С.А.** Глубинное шлифование замков лопаток ГТД высокопористыми кругами закрытых структур // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-1998: Труды Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 1998. С. 164–167.

309. **Макаров В.Ф., Семиколенных В.В., Лобов М.В.** Скоростное глубинное шлифование высокопористыми кругами из электрокорунда на керамической связке // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2001: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2001. С. 160–162.

310. **Згонник Н.П., Паламодов М.М., Стародубова Г.Н.** О влиянии режима термической обработки на шлифующие свойства шарошлифовальных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1967. № 5. С. 24–27.

311. **Згонник Н.П., Стародубова Г.Н.** Влияние состава массы и газовой среды на основные свойства шарошлифовального абразивного инструмента // Труды ВНИИАШ. № 10. № 10. М., 1970. С. 48–56.

312. **Згонник Н.П., Паламодов М.М., Стародубова Г.Н.** Шарошлифовальные круги отечественного и зарубежного производства / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. № 11. С.3–11.

313. А. с. 313822. Масса для изготовления абразивного инструмента / Н.П. Згонник, В.А. Барановский, В.Ф. Соколов, Г.Н. Стародубова // Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки. 1971. № 27.

314. Освоение инструментов для Волжского автомобильного завода / С.Г. Воронов, К.Г. Слюсаренко, Ю.Ф. Юликова, Г.И. Волков; НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. С.9–11.

315. Исследование работоспособности зарубежных и отечественных абразивных кругов / В.И. Пилинский, С.А. Власова, С.В. Николаев, В.В. Щупанов; НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. № 2. С. 38–40.

316. **Пилинский В.И., Бойко Ю.С., Николаев С.В.** Исследования отечественных и зарубежных абразивных кругов на операциях шлифования и заточки режущих инструментов в условиях Волжского автомобильного завода / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. № 1. С. 28–33.

317. Выбор абразивного инструмента для работы на шлифовальных станках различных типов / С.Г. Воронов, К.Г. Слюсаренко, Л.Д. Володина и др.; НИИМАШ. М., 1974. С. 242.

318. Пат. 1573693. Шлифовальный круг / М.Г. Эфрос, С.М. Федотова, Н.Д. Корчагина, Ю.В. Иваницкий, И.З. Певзнер, В.В. Карлин, Н.П. Хижняк, В.С. Буров, В.М. Коломазин, Э.Я. Довгаль (Россия). Опубл. 18.08.93.

319. Абразивные инструменты с применением сферокорунда на керамической и бакелитовой связках / Н.Д. Корчагина, Т.Н. Малкова, Х.А. Мамин и др.: Труды ВНИИАШ / ВНИИТЭМР. М., 1991. С. 16–23.

320. Суперфиниширование дорожек качения роликовых подшипников 4 и 2 классов точности / И.Х. Стратиевский, Г.П. Зайцев, К.П. Шпотаковская и др.; НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. Вып. 11. С. 1–3.

321. **Сохович Е.В., Раздольская И.В., Безолюк Ю.В.** Отечественные высокопористые абразивные бруски на керамических связках для наружного хонингования сферических поверхностей // Современные виды абразивных инструментов / ВНИИТЭМР. Л., 1991. С. 63–66.

322. Абразивные бруски для суперфиниширования дорожек качения колец высокоточных роликовых подшипников / Ю.В. Материкин, З.И. Кремень, О.Н. Абрамов и др.; ВНИИАШ // Современные виды абразивных инструментов. Л., 1991. С. 67–68.

323. **Кабанов В.С.** Абразивный камнеобрабатывающий инструмент на магнезиальной связке // Intergrind-91: VIII Междунар. конф. по шлифованию, абразивным материалам и инструментам. Ч. I. Л., 1991. С. 45–49.

324. **Заев В.Ф., Богайсков Ю.С., Шаповалова М.П.** Исследование физико-механических и эксплуатационных свойств абразивного инструмента для обработки природного камня // Современные виды абразивных инструментов / ВНИИТЭМР // Труды ВНИИАШ. Л., 1991. С. 87–98.

325. **Ананьина В.Д., Сорокина А.Г.** Исследование механической прочности фенольных связок производства Нижнетагильского завода пластмасс / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1982. С. 13–16.

326. **Орлова Т.Н.** Исследование зависимости физико-механических показателей связующего марок СПФ-011А, СПФ-012А от сроков хранения шлифматериалов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2001: Междунар. конф. Волжский, 2001. С. 106–107.

327. **Жукова И.А.** Исследования влияния текучести фенольного порошкообразного связующего на твердость абразивного инструмента на бакелитовой связке // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2000: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2000. С. 29–30.

328. **Орлова Т.Н., Холоденко В.Ф.** Влияние физико-механических свойств фенолформальдегидных смол на качественные характеристики абразивного инструмента // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2000: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский. 2000. С. 72–74.

329. **Райт В.В.** Наполнители, применяемые при производстве абразивного инструмента на бакелитовой связке и расчет рецептуры формовочных смесей. Изд-во Юж.-Урал. ун-та, Челябинск, 2002. С. 55–61.

330. **Островский В.И.** Режущие свойства полировальных кругов на бакелитовой связке со специальными наполнителями / НИИМАШ // Абразивы. М., 1969. № 3 (70). С. 29–36.

331. **Трофимова Г.В., Надеева И.В., Шумячер В.М.** О влиянии наполнителей на эксплуатационные характеристики абразивного бакелитового инструмента // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2003: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2003. С. 35–36.

332. **Курносов А.П., Борисов В.А.** Применение антимонита в качестве наполнителя в отрезных кругах на бакелитовой связке / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1983. С. 8–9.

333. **Разумов А.А., Лапин В.Ю.** Новые полимерные композиционные материалы (ПМК) для структур МЧС. Теория, технология и оборудование для производства абразивного инструмента. Сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 2003. С. 51–53.

334. **Разумов А.А., Тимофеева С.В., Лапин В.Ю.** Исследование возможности эффективного использования строительных материалов в абразивном производстве // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2004. С. 11–13.

335. **Суров С.П.** Расчет рецептур абразивного инструмента на пульвербакелитовой связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. С. 4–5.

336. **Райт В.В.** Взаимосвязь структуры абразивного инструмента на бакелитовой связке с его твердостью, коэффициентом прессования и удельным усилием прессования / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 2. С. 6–8.

337. А. с. 1423363 А1 (51) М В24 Д 18/00. Способ изготовления высокопористого абразивного инструмента / Бехтерева В.Н., Райт В.В.

338. **Красевич А.Д.** Бакелизация кругов, изготовленных на пульвербакелите в засыпке зерном / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 10. С. 8–11.

339. **Згонник Н.П.** Совершенствование конструкции туннельных бакелизаторов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1965. № 5 (49). С. 23–27.

340. **Паламодов М.М., Неумывако В.Г., Хацко С.И.** Эффективная абразивная зачистка металлопроката силовыми скоростными обдирочными кругами / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 2. С. 1–3.

341. Исследование продуктов взаимодействия круга с металлом при силовом обдирочном шлифовании / А.М. Магафуров, Л.Г. Пищина, В.Т. Ивашинников и др. НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. № 3. С. 2–4.

342. **Зубов А.С., Дубынин А.А., Кузнецов А.К.** Абразивные материалы для силовых обдирочных и рельсошлифовальных кругов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2001: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2001. С. 5–7.

343. **Бреслер С.Н., Суров С.П., Удилова И.Г.** Абразивный инструмент для скоростного обдирочного шлифования / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 1. С. 9–10.

344. Свойства связующих для скоростного обдирочного инструмента / В.Н. Кумсков, А.М. Юферов, С.Н. Бреслер, А.И. Смирнова; НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. № 5. С. 6–10.

345. **Кумсков В.Н., Юферов А.М., Бреслер С.Н.** Применение нового связующего на основе фенолформальдегидных смол для изготовления скоростного обдирочного инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1978. № 4. С. 13–14.

346. Связующие для производства высокоэффективного обдирочного инструмента / С.Н. Бреслер, А.И. Вольфсон, А.М. Юферов, В.Н. Кумсков // Труды ВНИИАШ. Л., 1982. С. 21–24.

347. **Берлин А.И. и др.** Отверждение резольных фенолформальдегидных смол // Пластические массы. 1969. № 1.

348. **Шутов В.А., Белов Ю.Н., Степанов О.Д.** Термографические исследования процессов отверждения фенольных пенопластов // Строительные материалы. 1970. № 11.

349. **Удилова И.Г., Сермягина С.С., Ананьина В.Д.** Связка соаптак, применяемая в производстве абразивного инструмента на бакелитовой связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1978. № 1. С. 13.

350. **Орлова Т.Н., Орлов И.Ю.** Исследование влияния структурно-механических характеристик отрезного абразивного круга на его эксплуатационные показатели (коэффициент шлифования) // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2004. С. 87–89.

351. **Орлова Т.Н., Орлов И.Ю.** Исследования влияния в динамической вязкости жидкого бакелита БЖ-3 на механическую прочность отрезных кругов // Процессы обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2003. С. 45–49.

352. **Орлова Т.Н., Орлов И.Ю.** Исследование процессов, происходящих при реакции поликонденсации фенолформальдегидных смол // Процессы обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2003: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2003. С. 52–53.

353. Модифицирование бакелитовой связки отрезных кругов жидким каучуком / А.П. Курносов, Л.Г. Пицина, Н.А. Карпова, В.А. Борисов // Абразивы: Экспресс-информация. 1983. № 5. С. 3–7.

354. А. с. 785333 (51) М Кл³ CO8L 61/10, CO8J5/14. Полимерная абразивная пресс-композиция / Ю.В. Лагунов, А.П. Гаршин, В.О. Рейхсфельд, Д.А. Ханходжаева. Опубл. 07.12.80. Бюл. № 45.

355. А. с. 994237 (51) М Кл³ B24D3/20 B24D/34. Масса для изготовления абразивного инструмента / В.Н. Мишин, Б.Т. Горшков, А.М. Кузнецов, Ю.Н. Кулаков, А.П. Балабанов, И.Н. Курбагов. Опубл. 07.02.83. Бюл. № 5.

356. А. с. 872237 (51) М Кл³ B24D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента / Л.Н. Лунинович, Г.И. Орехова, Х.А. Мамин, В.В. Иващенко, Е.И. Веникевич, Н.А. Афанасьева. Опубл. 15.01.81. Бюл. № 38.

357. **Лунинович Л.Н., Орехова Г.И.** Выбор рациональных характеристик высокоскоростных обрезных кругов на бакелитовой связке // Абразивы: Экспресс-информация. 1982. № 1. С. 3–7.

358. **Горшков В.Г., Куркин В.Г., Литвинов А.А.** Выбор отрезных кругов для работы со скоростью 100 м/с / НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. № 2. С. 5–7.

359. Производство вулканитовых абразивных кругов / Б.А. Чаплыгин, В.А. Павлов, В.Н. Дятлов и др. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1998. 332 с.

360. А. с. SU 177 54 22 A1 (51) CO8 L9/06CO8K 13/02, B24 D. Органическая связка для изготовления абразивного инструмента / И.П. Серков. Опубл. 15.11.92. Бюл. № 42.

361. А. с. 480235. Связующее для изготовления абразивных инструментов на вулканитовой связке / Р.О. Бояршинова, М.И. Данекина и др. (СССР).

362. Пат. 2070508. Масса для изготовления абразивного отрезного круга / В.А. Павлов, Б.А. Чаплыгин, В.Ф. Романенко и др. (СССР). Опубл. 1975. Бюл. № 3.

363. **Дятлов В.Н.** Исходные материалы для абразивного инструмента // Машины и технология обработки давлением порошковых и композиционных материалов: Сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1997. С. 63–73.

364. Термографический анализ твердых каучуков и физико-механические свойства инструмента на вулканитовой связке / И.В. Васильева, А.Г. Морозова, С.Д. Гитенко и др. // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2002. С. 52–55.

365. **Виноградов Г.В. и др.** Реология полимеров // Коллоидный журнал. 1964. Т. 26. Вып. 5.

366. Производство вулканитовых абразивных кругов / Б.А. Чаплыгин, В.А. Павлов, В.Н. Дятлов и др. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1998.

367. Влияние реакционно-активного комбинированного пластификатора на процессы структурообразования и свойства инструмента на вулканитовой связке / Б.А. Чаплыгин, А.Г. Морозов, С.Д. Гитенко и др. // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград. 2004. С. 9–11.

368. Технологические инструкции по изготовлению вулканитовых и гибких полировальных кругов / Юж.-Урал. ЦНТИ. Челябинск, 1970. 218 с.

369. **Шеркунов В.Г., Павлов В.А., Чаплыгин Б.А.** Валковое оборудование АО «Росси» // Машины и технология обработки давлением порошковых и композиционных материалов: Сб. науч. тр. / Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1997. С. 128–138.

370. **Савинов И.И., Карамышева Л.Ф., Клещев А.Н.** Непрерывное формование шлифовальных кругов на вулканитовой связке // Абразивы: Экспресс-информация. 1983. Вып. 7. С. 4–6.

371. **Дятлов В.Н.** Новые процессы и устройства для изготовления заготовок вулканитовых кругов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2002: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2002. С. 124–127.

372. Контроль качества инструмента на вулканитовой связке методом физико-химического анализа / А.Г. Морозова, И.В. Васильев, Т.А. Долинина и др. // Сборник научных трудов. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1997. С. 145–146.

373. Производство абразивных отрезных кругов на вулканитовой связке / Л.А. Барков, В.А. Павлов, Б.А. Чаплыгин и др. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1997. С. 145.

374. **Гитенко С.Д., Марченко С.В.** Новое в изготовлении тонких отрезных кругов диаметром до 200 мм // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2004. С. 52–55.

375. **Павлов В.А., Гитенко С.Д., Марченко С.В.** Новая конструкция абразивного отрезного инструмента на вулканитовой связке // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2001: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский; Волгоград, 2001. С. 14–17.

376. **Чаплыгин Б.А.** Технология производства полировальных абразивных кругов на вулканитовой связке // Машины и технология обработки материалов давлением: Сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1998. С. 31–41.

377. **Павлов В.А.** NORTON – крупнейший в мире производитель абразивных материалов и инструмента // Машины и технология обработки давлением: Сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. ун-та, 1998. С. 3–7.

378. Проспект фирмы NORTON (США). Профиль компании NORTON.

379. Проспект фирмы NORTON (США). Vitrified and Organic Products.

380. Проспект фирмы TYROLIT (Австрия). Schleiftechnik für Tedermann.

381. Проспект фирмы TYROLIT (Австрия). Grinding Tools and their Internal Structure.

382. Проспект фирмы TYROLIT (Австрия). Polishing wheels.
383. Проспект фирмы TYROLIT (Австрия). Elastic Fine Grinding Wheels, Elastic Points and Elastic Sharpening Wheels.
384. Проспект фирмы UNICORN ABRASIVES (Англия). Plain and Recessed Wheels.
385. Проспект фирмы UNICORN ABRASIVES (Англия). Shaped Wheels and Segments.
386. Проспект фирмы UNICORN ABRASIVES (Англия). Fascust Wheels and Cut off.
387. Проспект фирмы NAXOS-UNION (Германия). Grinding Wheeks Prodyction and Application.
388. Проспект фирмы NAXOS-UNION (Германия). Production Range of our Abrasive Division.
389. Проспект фирмы NAXOS-UNION (Германия). Schleifstifte.
390. Проспект фирмы NAXOS-UNION (Германия). High-pressure Grinding.
391. Проспект фирмы EFESIS (Германия). Grinding Wheels.
392. Проспект фирмы EFESIS (Германия). Production Program.
393. Проспект фирмы EFESIS (Германия). Surface Grinding with Peripheral Wheels.
394. Проспект фирмы EFESIS (Германия). Control Wheels for Centerless Grinding.
395. Проспект фирмы PFERD (Германия). Schleifkörper.
396. Проспект фирмы PFERD (Германия). Schleif- und Treunschleitscheiben.
397. Проспект фирмы ARTIFEX (Германия). Elastic bonded abrasives for Grinding and Polishing.
398. Проспект фирмы ARTIFEX (Германия). Standart Abrasive Range Bonding R.
399. Проспект фирмы ARTIFEX (Германия). Surface Finishing with ARTIFEX.
400. Проспект фирмы ARTIFEX (Германия). Standart Abrasive Range Bonding A.
401. Проспект фирмы ARTIFEX (Германия). Glass Polishing Wheels.
402. Проспект фирмы MOLEMAB (Италия). Surface Grinding Wheels.
403. Проспект фирмы MOLEMAB (Италия). Grinding Wheels.
404. Проспект фирмы MOLEMAB (Италия). Mounted Wheels.
405. Проспект фирмы MOLEMAB (Италия). Cut off Wheels and Snagging Wheels.
406. Проспект фирмы GRANDINETTI (Италия). Dischi e Mole Abrasive.
407. Проспект фирмы ABRA BETA (Италия). ABRA BETA Products.
408. Проспект фирмы RADIAC ABRASIVES (Ирландия). Multi Application Rubber Bonded Grinding Wheels.
409. Проспект фирмы RADIAC ABRASIVES (Ирландия). Grinding Wheels.
410. Проспект фирмы RADIAC ABRASIVES (Ирландия). Pekay Milled Rubber Regulating Wheels.
411. Проспект фирмы RADIAC ABRASIVES (Ирландия). Отрезные круги на каучуковой связке.
412. Проспект фирмы RADIAC ABRASIVES (Ирландия). Тонкие и сверхтонкие отрезные круги на каучуковой связке.
413. **Бабошкин А.Ф.** Абразивный инструмент на гибкой основе // Инструмент. 1995. № 2. С. 6–7.
414. **Рыбаков В.А., Зайцева А.М., Масарский М.Л.** Основные направления развития и совершенствования процессов ленточного шлифования и инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. № 6. С. 34–38.
415. **Рыбаков В.А., Масарский М.Л.** Основные направления развития и совершенствование процессов ленточного шлифования и инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. № 9. С. 15–18.
416. **Клейнер М.А.** Новые виды тканевых и бумажных основ для производства шлифовальной шкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1965. Вып. 3. С. 21–22.
417. **Клейнер М.А., Кокина Н.П.** Новые тканевые основы для шлифовальной шкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1965. Вып. 6. С. 42–44.
418. **Сухорукова Л.И., Гарина О.В.** Шлифовальная шкурка на комбинированной основе / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 7. С. 9–10.

419. **Степанова Т.С., Гринькова Л.Н., Зайцева М.А.** Новые виды шлифовальных шкурок на особопрочных бумагах / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 3. С. 10–11.

420. Некоторые параметры качественной характеристики абразивного зерна для шлифовальных лент / Е.П. Феофилактова, Н.И. Пискарева, М.А. Кленнер, Р.В. Мусс; НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. Вып. 5. С. 1–3.

421. **Лавров И.В., Лобанова Л.А., Зайцева М.А.** Закономерность морфологии зерна и нормы его расхода на изготовление шлифшкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1969. Вып. 2. С. 14–16.

422. **Кудрявцев Г.А., Завалишин Г.И.** Вопросы улучшения и автоматизации производства шлифовальной шкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1965. № 5 (49). С. 27–31.

423. **Романова Э.Г., Хазанова Б.И.** Отделка тканевых основ для шлифовальной шкурки на фенолоформальдегидных смолах / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 5. С. 8–10.

424. **Чиряев И.В.** Выбор типа электроосадительной установки для изготовления шлифовальной шкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 3. С. 25–28.

425. **Чиряев И.В.** Повышение эффективности электроосадительных установок для изготовления шлифовальной шкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. Вып. 8. С. 9–11.

426. **Ротштейн Г.Ш.** Автоматический контроль толщины слоя клея и зерна при изготовлении шлифовальной шкурки / НИИМАШ // Абразивы. М., 1963. Вып. 4 (36). С. 39–43.

427. **Якубовский Е.С., Уланова М.Е.** Исследование плотности насыпки абразивного материала в шлифовальных лентах / ВНИИТЭМР // Труды ВНИИАШ. Вып. 4. М., 1967. С. 128–134.

428. Влияние режима термической обработки на упруго-пластические свойства абразивного услоя шлифовальной шкурки и ее шлифующие свойства / Н.П. Згонник, Л.К. Ефремов, Е.Н. Широкова, Г.К. Бунимович; НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. Вып. 2. С. 17–21.

429. **Згонник Н.П., Ефремов Л.К., Широков А.И.** Термокамеры для термической обработки абразивной шкурки на синтетических клеях / НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. Вып. 5 (78). С. 23–27.

430. Латексно-смоляные композиции для аппретирования тканевой основы водостойкой шлифовальной шкурки / Н.П. Качан, Л.Н. Ернова, М.Н. Зайцева и др. // Абразивы. 1982. № 4. С. 4–7.

431. **Попенкова З.Н., Зайцева М.Н., Бывальцева Н.Н.** Аппрет МП для изготовления шлифовальной шкурки на синтетических клеях / НИИМАШ // Абразивы. М., 1972. № 5. С. 12–14.

432. **Корчмарь Ф.Я., Мухортов И.В., Бикташева Н.И.** Аппретирование тканевых основ для производства водостойкой шлифовальной шкурки с регулируемыми свойствами // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-1998: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 1998. С. 26–27.

433. **Бикташева Н.И., Власов В.В., Ершова Н.П.** Разработка технологии изготовления эластичной неводостойкой шлифовальной шкурки // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-1999: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 1999. С. 37–39.

434. **Мухортов И.В., Бикташева Н.И.** Освоение на ЗАО "Росси" шлифовальной шкурки на модифицированных синтетических смолах и композиционных связующих // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-1998: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 1998. С. 35–36.

435. **Феофилактова Е.П., Пискарева Н.Н., Попенкова З.Н.** Шлифовальные ленты из микропорошков черного карбида кремния для обработки экранов кинескопов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. № 8. С. 10–12.

436. Абразивные материалы и инструменты: Кат.-справ. / НИИМАШ. М., 1976. 242 с.

437. **Масевич О.С., Немов Ю.М., Клейнер М.А.** Оборудование для производства широких шлифовальных лент / НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. Вып. 4. С. 12–14.

438. **Бармин Б.П.** Опыт изготовления и эксплуатационные свойства лепестковых абразивных кругов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1969. Вып. 1. С. 21–24.

439. Установка механизированной сборки лепестковых кругов / В.Ю. Гвоздев, В.Ф. Хайлов, Ф.Я. Корчмарь, В.В. Храмов // Труды ВНИИАШ. Л., 1988. С. 75–76.

440. **Свитковский В.Д., Утехин Ю.В.** Ленточное шлифование омедненных валов // Машиностроение. 1971. № 11.

441. **Лаврович Р.М.** Электростатическая камера для нанесения абразивного материала на листовую фибру / НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. Вып. 6. С. 17.

442. **Уланова М.Е.** Исследование режущего профиля шлифовальных шкурок различных характеристик / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 7. С. 10–13.

443. **Новиков Ю.Г.** Шлифование лопаток газотурбинных двигателей шлифовальными лентами с прерывистой рабочей поверхностью / НИИМАШ // Абразивы. М., 1976. Вып. 8. С. 3–4.

444. **Вырезуб В.Н.** Шлифование абразивными лентами. М.: Машиностроение, 1972. 104 с.

445. **Попенкова З.Н.** Микронная шкурка на тканевой основе для обработки экранов стеклооболочек кинескопов черно-белого и цветного телевидения / НИИМАШ // Абразивы. М., 1970. Вып. 5. С. 27–29.

446. Повышение эффективности окончательного шлифования деталей бумагоделательных машин / М.Е. Уланова, М.А. Зайцева, Т.А. Щеголев, В.А. Щеголев; НИИМАШ // Абразивы. М., 1979. Вып. 4. С. 3–4.

447. **Зайцева М.А.** Исследование влияния различных шкурок на процесс шлифования древесины: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Лесотехн. акад. им. С.М. Кирова. Л., 1967. 32 с.

448. **Уланова М.Е., Зайцева М.А., Чайковский Ю.В.** Шлифование матриц вырубных штампов из закаленных сталей шлифовальными лентами / НИИМАШ // Абразивы. М., 1981. Вып. 5. С. 6–9.

449. Применение шлифовальной шкурки на тканевой основе и изделий из нее: Метод. рекомендации / А.А. Пыльнев, В.Н. Тырков, Н.В. Сырейщикова и др. ВНИИТЭРМ. М., 1984. С. 20.

450. **Пирозерская О.Л.** Характерные особенности и сравнительная характеристика шлифования абразивными лентами // Процессы абразивной обработки, абразивные материалы и инструменты. Шлифабразив-2003: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, Волгоград; 2003. С. 113–116.

451. **Зайцева М.А., Уланова М.Е., Скачко А.П.** Эксплуатационные особенности шлифовальной шкурки на специальных синтетических связках / ВНИИТЭМР // Инструменты для высокоэффективного шлифования: Труды ВНИИАШ. Л., 1982. С. 24–31.

452. **Буимович Г.Р., Гаврилов П.А., Мальвинов Б.Л.** Шлифующие свойства двухслойной шлифовальной шкурки на тканевой основе / НИИМАШ // Абразивы. М., 1971. Вып. 6. С. 9–11.

453. **Иванов Ю.И., Носов Н.В., Исаков А.И.** Эффективность шлифования лепестковыми кругами / НИИМАШ // Абразивы: Экспресс-информация. М., 1982. Вып. 2. С. 8–12.

454. Методика контроля качества лепестковых кругов по эксплуатационным показателям в производственных условиях / Ф.Я. Корчмарь, Н.В. Сырейщикова, Н.И. Григорьева и др.; ВНИИТЭМР. М., 1987. 13 с.

455. **Семенова Т.Н., Старикова Л.И.** Шлифовальная шкурка на полиэфирно-вискозных тканях / ВНИИТЭМР // Современные виды абразивных инструментов: Труды ВНИИАШ. Л., 1991. С. 59–63.

456. **Макаров В.Ф., Кочепанова Н.К.** Повышение эффективности ленточного шлифования лопаток ГТД новым абразивным материалом Компакткорн // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы Шлифабразив-2000: Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2000. С. 124–126.

457. Лепестковые шлифовальные круги // Finisching Industries, 1980. Vol. 4. N 12. P. 44.

458. Metal Finisching. 1981. Vol. 79. N 9. P. 118; 1982. Vol. 6. N 12. P. 8.

459. Шлифовальные диски // Foundry Trade Journal. 1982. Vol. 153. N 3241. P. 40.

460. **Бреслер С.Н.** Кинетика гетерогенного ацелирования поливинилового спирта формальдегидом в наполненных абразивных пенах / НИИМАШ // Труды ВНИИАШ. Вып. 12. М., 1976. С. 118–121.

461. **Берлин А.А.** Основы производства газонаполненных пластмасс и эластомеров. М.: Госхимиздат, 1954.

462. **Ушаков С.Н.** Поливиниловый спирт и его производные. М.: Изд-во АН СССР, 1960.

463. **Бреслер С.Н., Балаев Г.А.** Граничные вязкости растворов поливинилового спирта / Вып. 4 // Труды ВНИИАШ. Л.: Машиностроение, 1967. С. 123–127.

464. **Бреслер С.Н.** Процесс пенообразования водных растворов поливинилового спирта / НИИМАШ // Труды ВНИИАШ. Вып. 10. М., 1970. С. 56–61.

465. **Бреслер С.Н.** Факторы, ускоряющие процесс отмывки кругов на основе вспененных смол / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. Вып. 1. С. 16–18.

466. **Балаев Г.А., Бреслер С.Н., Тараканова Е.С.** Абразивные изделия на основе вспененных смол / НИИМАШ // Абразивы и алмазы. М., 1965. Вып. 4. С. 18–20.

467. Станкостроение Японии: По материалам станкостроительной выставки 1962 г. в г. Осака / ЦИНТИМШ. М., 1963.

468. **Тарасевич И.К., Круглов Г.А.** Высокопористые шлифовальные и полировальные круги // Часы и часовые механизмы. 1963. № 3.

469. Способ изготовления высокопористого инструмента на бакелитовой связке / В.В. Райт, Г.Н. Саламатина, Э.А. Никитин, Л.Г. Огаркова // Разработка и исследование прогрессивных видов абразивного инструмента: Труды ВНИИАШ. Л., 1986. С. 45–49.

470. А. с. 819622 СССР, МКИ^3 D 01 № 3/58. Способ определения структуры абразивного инструмента / В.В. Райт, Н.Ф. Соколов, А.А. Верзаков. № 2673011/25–28; Опубл. 07.04.81. Бюл. № 13.

471. А. с. 686863 СССР, МКИ B24 D 3/34. Способ изготовления абразивного инструмента / В.В. Райт и др. Опубл. 25.09.79. Бюл. № 35.

472. А. с. 850368 СССР, МКИ^3 B24 D 3/28. Способ изготовления абразивного инструмента / В.В. Райт и др. Опубл. 30.07.81. Бюл. № 28.

473. А. с. 933430 СССР, МКИ^3 B24 D 3/34. Способ изготовления абразивного инструмента / В.В. Райт, Л.Г. Огаркова, Т.Н. Нечаева. Опубл. 07.06.82. Бюл. № 21.

474. А. с. 960000 СССР, МКИ B24 D 3/34. Масса для изготовления абразивного инструмента / В.Ф. Соколов, В.В. Райт, Т.Н. Нечаева. Опубл. 23.09.82. Бюл. № 35.

475. **Геронимус А.Л., Мамин Х.А.** Выбор режимов термообработки изделий на глифталевой связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1978. № 4. С. 15.

476. **Богайсков Ю.С., Шумячер В.М.** Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов. Волгоград, 2005. 199 с.

477. **Дрововозов Г.П., Ратманов Э.В., Сызранцев В.Е.** Чистовая обработка круговых зубьев колес спирально-дисковыми хонами // Теория и расчет передаточных механизмов. Хабаровск, 1973. С. 77–81.

478. А. с. 200462 СССР. Абразивная масса для изготовления зубчатых хонов / С.Н. Калашников, И.И. Глухов, В.Т. Чеканов и др. № 1020750/25–8; Заявл. 23.07.65 // Открытия. Изобретения. 1967. № 16.

479. **Ковальзон Г.М.** Изготовление хонов, червяков и других фасонных изделий на эпоксидной смоле // Труды ВНИИАШ. № 5. М.; Л., 1967. С. 66–77.

480. А. с. 192657 СССР. Масса для изготовления абразивного инструмента / Г.М. Ковальзон, С.М. Прокофьев, В.А. Цыганков. № 1049118/25−8; Заявл. 10.01.66 // Открытия. Изобретения. 1967. № 5. С. 28−30.

481. **Лих Х., Невилл К.** Справочное руководство по эпоксидным смолам. М.: Энергия, 1973. 416 с.

482. **Чубриков К.Д.** Исследование дисковых шеверов, условия работы режущих кромок, силовые зависимости при шевинговании: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1974. 235 с.

483. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Под ред. Б.С. Митина. М.: Металлургия, 1987. 792 с.

484. **Романов В.Ф., Криниберг Ц.З., Хасин Л.М.** Новый технологический процесс отделки зубьев цилиндрических колес // Вестник машиностроения. 1964. № 1. С. 44−50.

485. **Эрлих Э.М.** Эпоксидно-тиокольные композиции для герметизации элементов электронной техники / ЛДНТП. Л., 1968. С. 4−6.

486. **Смирнов В.А., Манунин В.П., Чернышова Н.В.** Акриловые пластмассы в качестве связующего для изготовления сложнопрофильного абразивного инструмента / НИИМАШ // Абразивы. М., 1973. № 4. С. 12−15.

487. А. с. 475374 СССР. Композиция для получения абразивного инструмента / В.П. Манунин, В.А. Смирнов, Н.В. Чернышова. № 1751539/23; Заявл. 25.02.72 // Открытия и изобретения. 1975. № 24.

488. А. с. 810742 СССР. Композиция для изготовления абразивного инструмента / В.П. Манунин, Н.В. Суровяткина, Ю.С. Багайсков и др. № 2721935/23−00; Заявл. 07.02.79 // Открытия и изобретения. 1981. № 9.

489. **Манунин В.П., Суровяткина Н.В., Багайсков Ю.С.** Шлифовальные шеверы на акрилополиуретановой связке / НИИМАШ // Абразивы. М., 1980. № 2. С. 4−6.

490. А. с. 543511 СССР / Абразивная масса для изготовления инструмента / В.П. Манунин, В.А. Смирнов, Н.В. Чернышова. № 2102868/08; Заявл. 04.02.75 // Открытия и изобретения. 1977. № 3.

491. **Апухтина Н.П., Сотникова Э.Н.** Уретановые эластомеры. Синтетический каучук. Л.: Химия, 1976. С. 523−551.

492. **Курашев В.Д.** Исследование износостойкости полиуретанов в парах трения скольжения, работающих в гидроабразивной среде: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1976. 26 с.

493. **Манунин В.П., Смирнов В.А., Чернышева Н.В.** Изготовление зубчатых хонов из абразивнополиуретановых композиций / НИИМАШ // Абразивы. М., 1974. № 11. С. 9−11.

494. **Волчков А.И., Терентьев Е.М.** Исследование процесса зубохонингования крупномодульных зубчатых колес // Труды Новочеркас. политехн. ин-та. Вып. 3. Новочеркасск, 1973. С. 16−21.

495. **Маржина Н.И.** Исследование некоторых технологических факторов процесса зубохонингования эвольвентных цилиндрических колес: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1970. 210 с.

496. **Скундин Г.П., Антонюк В.Е., Брюховецкий С.А.** Зубохонингование как метод повышения эксплуатационных показателей зубчатых колес // Тракторы и сельхозмашины. 1973. № 3. С. 33−35.

497. **Манунин В.П., Пиховкин Л.П.** Анализ конструкций шлифовальных хонов / НИИМАШ // Абразивы. М., 1977. Вып. 12. С. 5−8.

498. Полировальные круги из тканей и сизалевых материалов / В.П. Манунин, В.И. Калашников, М.П. Шаповалова, С.С. Гришин // Абразивы: Экспресс-информация. 1981. № 10. С. 16−17.

499. Полирование нержавеющей стали инструментом на сизалевой основе / Ю.С. Багайсков, В.П. Манунин, И.П. Шаповалова, В.Ф. Заев // Интенсификация процессов абразивной обработки и повышение качества деталей: Труды ВНИИАШ. Л., 1988. С. 54−59.

500. **Рябцев С. А., Бондарчук Т. П., Горин Н. А.** Профильное глубинное шлифрвание хвостовиков лопаток газоперекачивающих установок новым высокопористым инструментом // Вестник МГТУ «Станкин». Научн. реценз. Журнал. М.: МГТУ «Станкин», 2010. № 2. С. 32–35.

501. **Зубарев Ю. М., Приемышев А. В.** Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов. СПб., 2010. 304 с.

502. **Звягольский Ю. С., Солоненко В. Г., Схиртладзе А. Г.** Теория производства режущего инструмента: учебное пособие. М.: Высш. шк., 2010. С. 141–267.

503. **Стратиевский И. Х., Юрьев В. Г., Зубарев Ю. М.** Абразивная обработка: справочник. М.: Машиностроение, 2010, 352 с.

504. **Рябцев С. А., Бондарчук Т. П.** Разработка весьма мягких высокопористых кругов с повышенной структурностью. // Вестник МГТУ «Станкин». Научн. рецензир. журнал. М.: МГТУ «Станкин». 2011, № 2.

505. **Никифоров И. П.** Современные тенденции шлифования и абразивной обработки: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2012.

506. **Макаров В. Ф.** Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов: учебное пособие. СПб.: Лань, 2013.

507. Высокоэффективные технологии обработки: монография / С. Н. Григорьев, М. А. Власова, А. Р. Маслов и др.; под общ. ред. С. Н. Григорьева. М.: Машиностроение, 2014. С. 10–59.